

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE**  
**VEGETAL**

**Potencial madeireiro de 22 espécies arbóreas do Cerrado:  
caracterização anatômica, física e energética**

**Mayara Cristina Gomes de Faria**

**Goiânia, GO**

**2016**

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

**1. Identificação do material bibliográfico:**     **Dissertação**     **Tese**

**2. Identificação da Tese ou Dissertação**

|  |  |                              |                  |
|--|--|------------------------------|------------------|
| Autor (a):                                     | Mayara Cristina Gomes de Faria   |                              |                  |
| E-mail:  | may.cristina18@hotmail.com   |                              |                  |
| Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? | <input checked="" type="checkbox"/> Sim  | <input type="checkbox"/> Não |                  |
| Vínculo empregatício do autor:                 | bolsista   |                              |                  |
| Agência de fomento:                            | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  | Sigla:                       | Capes            |
| País:  | Brasil   | UF:                          | GO               |
|  |  | CNPJ:                        | 00889834/0001-08 |
| Título:  | Potencial madeireiro de 22 espécies arbóreas do Cerrado: caracterização anatômica, física e energética |                              |                  |
| Palavras-chave:                                | Manejo florestal sustentável; qualidade da madeira; espécies florestais; densidade                     |                              |                  |
| Título em outra língua:                        | Wood potential of 22 tree species of the Cerrado: anatomic, physical and energy characterization       |                              |                  |
| Palavras-chave em outra língua:                | Sustainable forest management; wood quality; forest species; density                                   |                              |                  |
| Área de concentração:                          | Botânica   |                              |                  |
| Data defesa:                                   | 25/04/2016   |                              |                  |
| Programa de Pós-Graduação:                     | Biodiversidade Vegetal   |                              |                  |
| Orientador (a):                                | Carlos Roberto Sette Junior  |                              |                  |
| E-mail:  | crsettejr@hotmail.com  |                              |                  |
| Co-orientador (a):*                            | Matheus Peres Chagas   |                              |                  |
| E-mail:  | mperesc@hotmail.com  |                              |                  |

\*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

**3. Informações de acesso ao documento:**

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

*Mayara Cristina Gomes de Faria*  
Assinatura do (a) autor (a)

Data: 16 / 09 / 2016

<sup>1</sup> Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

**Mayara Cristina Gomes de Faria**

**Potencial madeireiro de 22 espécies arbóreas do Cerrado:  
caracterização anatômica, física e energética**

Orientador:

Prof. Dr. **CARLOS ROBERTO SETTE JUNIOR**

Co- orientador:

Prof. Dr. **MATHEUS PERES CHAGAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Goiás, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

**Goiânia, GO**

**2016**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob orientação do Sibi/UFG.

Faria, Mayara Cristina Gomes de  
Potencial madeireiro de 22 espécies arbóreas do Cerrado:  
caracterização anatômica, física e energética [manuscrito] / Mayara  
Cristina Gomes de Faria. - 2016.  
ciii, 103 f.

Orientador: Prof. Carlos Roberto Sette Junior; co-orientador  
Matheus Peres Chagas.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de  
Agronomia (EA) , Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade  
Vegetal, Goiânia, 2016.

Bibliografia.

Inclui fotografias, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Manejo florestal sustentável. 2. Qualidade da madeira. 3.  
Espécies florestais. 4. Densidade. I. Sette Junior, Carlos Roberto,  
orient. II. Chagas, Matheus Peres, co-orient. III. Título.



Ativar o Windows  
Acesse as configurações d  
ativar o Windows

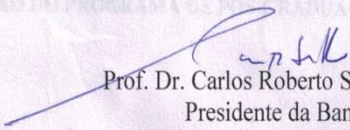


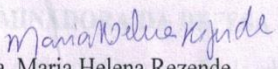
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
COORDENAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE VEGETAL

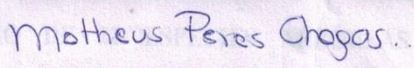
## ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE Nº 040

**ATA DA REUNIÃO DA BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO EM NÍVEL DE MESTRADO.** – Aos vinte e cinco dias do mês de abril do ano de dois mil e dezesseis (25/04/2016), às 14h00min horas, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Carlos Roberto Sette Júnior – orientador; Profa. Dra. Maria Helena Rezende e Prof. Dr. Matheus Peres Chagas para, sob a presidência do primeiro, e em sessão pública realizada na Sala 18 da Escola de Agronomia da UFG, procederem à avaliação da defesa de Dissertação intitulada **“POTENCIAL MADEIREIRO DE 22 ESPÉCIES ARBÓREAS DO CERRADO: CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA, FÍSICA E ENERGÉTICA.”** em nível de mestrado, área de concentração em Botânica, de autoria de **MAYARA CRISTINA GOMES DE FARIA**, discente do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal da Universidade Federal de Goiás. A sessão foi aberta pela presidente da Banca Examinadora Prof. Dr. Carlos Roberto Sette Júnior que fez a apresentação formal dos membros da banca. A palavra a seguir foi concedida à autora da dissertação que, em 45 minutos procedeu à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu a examinada, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. Tendo-se em vista o que consta na Resolução nº 1283/2014 do Conselho de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura (CEPEC), que regulamenta o Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal, a Dissertação foi APROVADA por unanimidade, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de MESTRE EM BIODIVERSIDADE VEGETAL, na área de concentração em Botânica pela Universidade Federal de Goiás. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBV da versão definitiva da

34 dissertação, com as devidas correções, em trinta dias a contar da data da defesa. Cumpridas as  
35 formalidades de pauta, às 17 horas e 30 min, a presidência da mesa encerrou esta  
36 sessão de defesa de Dissertação de Mestrado e para constar eu, Gleizilene Braz Pereira dos Santos,  
37 assistente administrativa do PPGBV lavrei a presente Ata, que após lida e aprovada, será assinada  
38 pelos membros da Banca Examinadora em três vias de igual teor.

39  
40  
41  
42   
43 Prof. Dr. Carlos Roberto Sette Júnior  
44 Presidente da Banca  
45 EA/UFG  
46

47  
48   
49 Prof. Dra. Maria Helena Rezende  
50 ICB/UFG  
51

52  
53  
54  
55  
56   
57 Prof. Dr. Matheus Peres Chagas  
58 EA/UFG  
59  
60  
61  
62  
63  
64

*Aos meus pais, pelo amor e apoio em mais uma etapa da minha vida.*

*Ao meu irmão, pela atenção e companheirismo em todos os momentos.*

*Ao meu namorado, pelo intenso amor, apoio e  
dedicação durante esta caminhada.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

*A DEUS, em primeiro lugar, pela vida, saúde e bênçãos durante esta etapa da minha vida. Sem Ele a vitória nunca seria alcançada.*

*Aos meus pais, Dilza e Marcondes, pelo intenso amor, apoio, atenção e incentivo durante esta jornada. Além de tudo, pela graça de viver e pelo exemplo de pessoas.*

*Ao meu irmão, Marcondes Jr., pelo amor que nos une, pelo apoio e companheirismo.*

*Ao meu namorado, Jeizon, pelo imenso amor, compreensão, apoio e forte dedicação em todos os momentos desta caminhada. Além disso, pelas sinceras palavras de motivação.*

*À minha família por todos os momentos vividos e pelas palavras de apoio.*

*Ao Prof. Dr. Carlos Sette, orientador, pela responsabilidade, competência, paciência e dedicação na orientação deste trabalho. Além do mais, pela amizade construída durante os últimos 4 anos.*

*Ao Macksuel, técnico do LQMBio, pela amizade e contribuição nos trabalhos laboratoriais.*

*Aos colegas, Caroline, Daniel, Fernanda, Iokanam, Lilian, Lucas, Pedro, Rebecca e Ygor, pela amizade e pela contribuição nos trabalhos laboratoriais.*

*Ao Prof. Dr. Matheus, pela participação na banca avaliadora e pela contribuição e dedicação nos procedimentos desenvolvidos na ESALQ/USP.*

*À Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Helena pela participação na banca avaliadora.*

*Ao colega Carlos de Melo pelo auxílio nas análises estatísticas.*

*À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP pela possibilidade de desenvolvimento de parte deste trabalho, em especial ao Prof. Dr. Mario Tomazello Filho pela atenção nos trabalhos desenvolvidos.*

*Ao Aparecido, técnico do laboratório, pela contribuição e dedicação nos trabalhos desenvolvidos na ESALQ/USP.*

*À Rede de Sementes do Cerrado pela parceria no trabalho e oportunidade de trabalharmos no projeto Semeando o Bioma Cerrado, em especial ao pesquisador Doutor José Rozalvo Andrigueto.*

*À Petrobrás pelo financiamento do projeto através do Programa Petrobrás Ambiental.*

*À Capes pela bolsa concedida durante a realização deste trabalho.*

*À amiga Aline Gonçalves, pela amizade, carinho e momentos de descontração.*

*Às amigas de Pós-Graduação, Aline Dionizio e Paola, pela amizade, apoio e carinho.*

*À 4ª turma de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal.*

*À Universidade Federal de Goiás- UFG.*

## RESUMO

No Cerrado existem cerca de 6.500 espécies da flora lenhosa, sendo mais de 40% endêmicas e que são pouco conhecidas e estudadas do ponto de vista da qualidade da madeira. O objetivo da pesquisa é determinar o potencial madeireiro de espécies arbóreas do bioma Cerrado, visando a utilização correta para subsidiar o manejo florestal sustentável. Foram selecionadas 22 espécies arbóreas para a retirada de amostras radiais do tronco na altura do DAP (1,30 m) de forma não destrutiva, utilizando-se a sonda de incremento e a sonda metálica com extrator motorizado. Nas amostras coletadas foram avaliadas a densidade aparente por densitometria de raios X e as características anatômicas (dimensões dos vasos e fibras) e energéticas (teores de carbono, cinzas e voláteis). A densidade aparente mínima variou de 0,36-0,72 g/cm<sup>3</sup>, enquanto a máxima de 0,75-1,21 g/cm<sup>3</sup>. Os perfis radiais de variação da densidade aparente das espécies apresentaram dois diferentes padrões, sendo eles crescente ou estável na direção medula-casca. As espécies estudadas apresentaram uma variação de 900,5-2052,9 µm para o comprimento; 18,1-27,7 µm para a largura; 4,4-9,4 µm para espessura da parede e 3,5-16,3 µm para o diâmetro do lume das fibras. As espécies possuem entre elas um modelo de variação radial comum para o comprimento e espessura das fibras enquanto que o diâmetro do lume e largura das fibras não apresentam modelos comuns entre as espécies. Para os vasos a variação foi de 29,2-155,6 µm para o diâmetro; 17,7-32,5 % de área ocupada e 2,6-165 vasos/mm<sup>2</sup>. A densidade apresentou correlações com a espessura da parede celular das fibras, diâmetro dos vasos e porcentagem de área ocupada por estes. Para as características energéticas as espécies apresentaram uma variação de 74,0-83,7% para o teor de materiais voláteis, 0,1-1,8% para o teor de cinzas e 15,5-25,5% para o teor de carbono fixo. As características energéticas teor de cinzas, carbono fixo e materiais voláteis são responsáveis por 70% da variância do conjunto de dados da análise de componentes principais. As caracterizações tecnológicas da madeira foram ferramentas importantes para o direcionamento de possíveis utilizações das espécies e serão subsídios para trabalhos futuros e para o manejo florestal sustentável dos recursos florestais madeireiros, contribuindo com a diversificação das espécies exploradas e diminuição da pressão sobre aquelas que estão em risco de extinção.

**Palavras-chave:** Manejo florestal sustentável; qualidade da madeira; espécies florestais; densidade.

## ABSTRACT

In Cerrado there are about 6.500 species of woody flora, more than 40% are endemic, little known and poorly studied from the point of wood quality. The objective of this study is to determine timber potential from tree species that belongs to Cerrado biome, aiming the correct utilization to support sustainable forest management. Twenty two (22) woody species were selected for sampling, when radial trunk nondestructive samples (at diameter at breast height - DBH) were taken, using a increment probe and a motorized extractor metal probe. In the collected samples, the following variables were evaluated: wood density by x-ray densitometry and anatomical characteristics (dimensions of the vessels and fibers) and energy (carbon, ash and volatiles). Minimum wood density ranged from 0,36 to 0,72 g / cm<sup>3</sup>, while the maximum from 0,75 to 1,21 g / cm<sup>3</sup>. Radial profiles of density variation of the species showed two different patterns, being them crescent or stable in the direction of pith-bark. Studied species showed a variation of 900,5 to 2052,9 µm to length; 18,1 to 27,7 µm for width; 4,4 to 9,4 µm for the wall thickness and from 3,5 to 16,3 µm for the lumen diameter of the fibers. The species show between them, a common model of radial variation to the length and thickness of the fibers while the lumen diameter and width of the fibers have no common models between the species. For vessels the variation ranged from 29,2 to 155,6 µm for their diameter; 17,7 to 32,5% of occupied area and 2,6 to 165 vessels/mm<sup>2</sup>. Density showed correlation with cell wall thickness of fibers, vessel diameter and percentage of area occupied by these. For the energy characteristics, the species show a variation of 74,0 to 83,7% for volatile materials content, 0,1 to 1,8% for ash content and 15,5 to 25,5% for fixed carbon content. Energy characteristics ash content, fixed carbon and volatiles are responsible for 70% of the data variance from principal component analysis data. Technological characterization of the wood were important tools for directing possible uses of the species and it can be considered as subsidies for future work and for sustainable forest management of timber forest resources, contributing to the diversification of exploited species and decrease the pressure on those who are at risk of extinction.

**Keywords:** Sustainable forest management; wood quality; forest species; density.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Áreas abrangidas pelo projeto “Semeando o Bioma Cerrado”, evidenciando as áreas de coleta de amostras do presente estudo: Pirenópolis (2) e Distrito Federal (4). Fonte: Rede de Sementes do Cerrado (2012).....   | 31 |
| Figura 2 – Metodologia de extração de amostras de madeira do tronco das árvores por método não destrutivo: extração com sonda de incremento com 6 mm de diâmetro (A, B, C); extração com sonda metálica e extrator motorizado com 25 mm de diâmetro (D, E, F).....                    | 34 |
| Figura 3 – Metodologia de densitometria de raios X: (A) corte das amostras em serra dupla, (B) suporte com as amostras de madeira, (C) equipamento de densitometria de raios X, (D) compartimento de leitura do equipamento de densitometria de raios X, (E) suporte de leitura. .... | 35 |
| Figura 4 – Avaliação do comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras no programa de análise de imagem <i>Image Pro Plus</i> . Barra: 300 µm. ....  | 36 |
| Figura 5 – Avaliação do diâmetro, área ocupada e frequência de vasos no programa de análise de imagem <i>Image Pro Plus</i> . Barra: 300µm.....   | 37 |
| Figura 6 – Preparo da biomassa para as análises químicas: (A) moinho de facas do tipo willey, (B) agitador orbital de peneiras e (C) forno mufla com cadinhos de porcelana e biomassa.....  | 38 |
| Figura 7 – Seção transversal macro (barra = 1 mm; ampliação: 10 x) e microscópica (barra = 500 µm; ampliação: 40 x) da madeira de (A e B) <i>Aspidosperma tomentosum</i> ; (C e D) <i>Astronium fraxinifolium</i> e (E e F) <i>Blepharocalyx salicifolius</i> .....                   | 45 |
| Figura 8 – Seção transversal macro (barra = 1 mm; ampliação: 10 x) e microscópica (barra = 500 µm; ampliação: 40 x) da madeira de (A e B) <i>Bowdichia virgilioides</i> ; (C e D) <i>Byrsonima verbascifolia</i> e (E e F) <i>Caryocar brasiliense</i> . ....                         | 47 |
| Figura 9 – Seção transversal macro (barra = 1 mm; ampliação: 10 x) e microscópica (barra = 500 µm; ampliação: 40 x) da madeira de (A e B) <i>Copaifera langsdorffii</i> ; (C e D) <i>Eriotheca pubescens</i> e (E e F) <i>Hymenaea stigonocarpa</i> .....                             | 49 |
| Figura 10 – Seção transversal macro (barra = 1 mm; ampliação: 10 x) e microscópica (barra = 500 µm; ampliação: 40 x) da madeira de (A e B) <i>Kielmeyera coriacea</i> ; (C e D) <i>Plathymenia reticulata</i> e (E e F) <i>Pouteria ramiflora</i> .....                               | 51 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 11 – Seção transversal macro (barra = 1 mm; ampliação: 10 x) e microscópica (barra = 500 µm; ampliação: 40 x) da madeira de (A e B) <i>Qualea grandiflora</i> ; (C e D) <i>Qualea parviflora</i> e (E e F) <i>Simarouba versicolor</i> .....   | 53 |
| Figura 12 – Seção transversal macro (barra = 1 mm; ampliação: 10 x) e microscópica (barra = 500 µm; ampliação: 40 x) da madeira de (A e B) <i>Tabebuia aurea</i> ; (C e D) <i>Tachigali subvelutina</i> e (E e F) <i>Tachigali vulgaris</i> .....   | 55 |
| Figura 13 – Seção transversal macro (barra = 1 mm; ampliação: 10 x) e microscópica (barra = 500 µm; ampliação: 40 x) da madeira de (A e B) <i>Tapirira guianensis</i> e (C e D) <i>Vochysia thyrsoidea</i> .....  | 57 |
| Figura 14 – Perfis radiais da densidade aparente da madeira.....  | 60 |
| Figura 15 – Perfis radiais da densidade aparente da madeira.....  | 61 |
| Figura 16 – Densidade aparente média em função A) da espessura média da parede celular das fibras; B) do diâmetro médio dos vasos e C) da porcentagem de área ocupada por vasos. ....   | 77 |
| Figura 17 – Análise dos componentes principais da densidade, características anatômicas e energéticas das espécies estudadas (Voláteis- valor do eixo: 4,138; variância: 37,69%; Cinzas- valor do eixo: 2,306; variância: 20,97%; Carbono fixo- valor do eixo: 1,257; variância: 11,43%; Densidade- valor do eixo: 1,035; variância: 9,41%; Parede - valor do eixo: 0,885; variância: 8,04%)..... | 83 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Comprimento das fibras de espécies do Cerrado encontrado por Sonsin et al. (2012) .....  | 23 |
| Tabela 2 – Comprimento e espessura da parede das fibras de espécies do Cerrado encontrados por Sonsin et al. (2014) .....   | 24 |
| Tabela 3 – Comprimento, diâmetro e frequência de vasos das espécies estudadas por Sonsin et al. (2014).....   | 26 |
| Tabela 4 – Família, nome científico e popular das espécies estudadas.....   | 33 |
| Tabela 5 – Classificação dos usos da madeira na construção civil (NAHUZ, 1974; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1989).....  | 41 |
| Tabela 6 – Classificações e intervalos de classe da densidade aparente das espécies....   | 43 |
| Tabela 7 – Valores da densidade aparente mínima, média e máxima das espécies estudadas.....   | 58 |
| Tabela 8 – Valores médios do comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras ( $\mu\text{m}$ ) da madeira das espécies do Cerrado .....   | 63 |
| Tabela 9 – Valores do comprimento, espessura da parede, largura e diâmetro do lume das fibras por posição radial na madeira.....  | 65 |
| Tabela 10 – Diâmetro ( $\mu\text{m}$ ), % de área ocupada e frequência ( $\text{n}^\circ/\text{mm}^2$ ) de vasos na madeira das espécies do estudo .....  | 69 |
| Tabela 11 – Valores de diâmetro, área e frequência de vasos por posição radial na madeira. ....   | 71 |
| Tabela 12 – Análise de regressão múltipla entre os valores médios da densidade aparente média (variável dependente) e as características anatômicas (variáveis independentes) da madeira das espécies estudadas. .... | 75 |
| Tabela 13 – Correlações entre os valores médios de densidade aparente e características anatômicas da madeira das espécies estudadas .....  | 76 |
| Tabela 14 – Teor de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo da madeira das espécies. ....   | 79 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela 15 – Resultados encontrados por Vale et al. (2002) na caracterização energética de algumas espécies comuns ao presente estudo..... | 81 |
| Tabela 16 – Classificação das espécies estudadas de acordo com a densidade aparente. ....   | 82 |
| Tabela 17 – Potenciais de usos das espécies estudadas.....  | 86 |
| Tabela 18 – Índices de classificação da qualidade da madeira das espécies estudadas para produção de papel.....                           | 88 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1 Introdução.....  | 16 |
| 2 Revisão bibliográfica.....   | 18 |
| 2.1 Bioma Cerrado.....   | 18 |
| 2.2 Manejo Florestal Sustentável .....   | 19 |
| 2.3 Qualidade da madeira .....   | 20 |
| 2.3.1 Características energéticas da madeira .....   | 21 |
| 2.3.2 Características anatômicas da madeira: variação radial e dimensões médias das fibras ..... | 22 |
| 2.3.3 Características anatômicas da madeira: variação radial e dimensões médias dos vasos .....  | 25 |
| 2.3.4 Densidade .....  | 27 |
| 3 Objetivos.....   | 29 |
| 3.1 Geral .....  | 29 |
| 3.2 Específicos .....  | 29 |
| 4 Material e Métodos .....   | 30 |
| 4.1 Seleção das árvores e definição dos locais de estudo .....                                   | 30 |
| 4.2 Caracterização dos locais de estudo .....  | 32 |
| 4.3 Seleção das árvores e coleta das amostras do tronco.....                                     | 32 |
| 4.4 Descrição macro e microscópica da madeira das espécies estudadas .....                       | 34 |
| 4.5 Qualidade da madeira e definições de usos .....  | 34 |
| 4.5.1 Densidade aparente por densitometria de raios X .....                                      | 35 |
| 4.5.2 Características anatômicas da madeira .....  | 36 |
| 4.5.2.1 Fibras .....   | 36 |
| 4.5.2.2 Vasos .....  | 37 |
| 4.5.3 Características energéticas da madeira .....   | 38 |
| 4.5.3.1 Teor de materiais voláteis.....  | 38 |

|   |    |
|---|----|
| 4.5.3.2 Teor de cinzas .....  | 39 |
| 4.5.3.3 Teor de carbono fixo .....  | 40 |
| 4.6 Potenciais de usos das espécies estudadas.....                          | 40 |
| 4.7 Análises estatísticas .....   | 42 |
| 5 Resultados e discussão .....  | 43 |
| 5.1 Descrição macro e microscópica das espécies estudadas.....              | 43 |
| 5.1.1 <i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.....                              | 44 |
| 5.1.2 <i>Astronium fraxinifolium</i> Schott .....                           | 44 |
| 5.1.3 <i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg.....                | 44 |
| 5.1.4 <i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth .....                             | 46 |
| 5.1.5 <i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC. ....                          | 46 |
| 5.1.6 <i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.....                              | 46 |
| 5.1.7 <i>Copaifera langsdorffii</i> Desf. (Figura 9 A e B) .....            | 48 |
| 5.1.8 <i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl.....         | 48 |
| 5.1.9 <i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne .....                     | 48 |
| 5.1.10 <i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.....                         | 50 |
| 5.1.11 <i>Plathymenia reticulata</i> Benth.....                             | 50 |
| 5.1.12 <i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk. ....                        | 50 |
| 5.1.13 <i>Qualea grandiflora</i> Mart.....                                  | 52 |
| 5.1.14 <i>Qualea parviflora</i> Mart. ....                                  | 52 |
| 5.1.15 <i>Simarouba versicolor</i> A.St.-Hil. ....                          | 52 |
| 5.1.16 <i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore..... | 54 |
| 5.1.17 <i>Tachigali subvelutina</i> (Benth.) .....                          | 54 |
| 5.1.18 <i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva & H.C.Lima .....                 | 54 |
| 5.1.19 <i>Tapirira guianensis</i> Aubl.....                                 | 56 |
| 5.1.20 <i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl.....                                 | 56 |
| 5.2 Densidade aparente por densitometria de raios X .....                   | 57 |

|   |    |
|---|----|
| 5.3 Características anatômicas da madeira: dimensões das fibras.....          | 62 |
| 5.4 Características anatômicas da madeira: dimensões dos vasos.....           | 68 |
| 5.5 Características anatômicas e densidade aparente média da madeira.....     | 74 |
| 5.6 Características energéticas.....  | 78 |
| 5.7 Agrupamento das espécies estudadas .....                                  | 81 |
| 5.7.1 Com base na densidade aparente .....                                    | 81 |
| 5.7.2 Pelo conjunto das características anatômicas, física e energéticas..... | 82 |
| 5.8 Potencias de usos das espécies estudadas.....                             | 85 |
| 6 Conclusões.....   | 90 |
| Referências bibliográficas .....  | 91 |

## 1 Introdução

As florestas naturais no mundo representam aproximadamente 4 bilhões de hectares, atingindo cerca de 30% da superfície terrestre (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2010). Rússia, Canadá, Estados Unidos, China e Brasil são os cinco países responsáveis pela metade da área florestal total do mundo, sendo que o Brasil possui 60% de todo o seu território coberto por florestas nativas equivalentes a 477,7 milhões de hectares (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007).

Com uma área de aproximadamente 2 milhões de km<sup>2</sup> (24% do território brasileiro) o Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupa a parte central do país, estendendo-se do litoral nordeste do Maranhão até o norte do Paraná (BRASIL, 2007) e possui cerca de 30 milhões de habitantes ou 16% da população do país (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2010).

No Cerrado existem em torno de 6.500 espécies da flora lenhosa que são pouco estudadas do ponto de vista da tecnologia da madeira, especialmente as que apresentam importância comercial (RESENDE e FURTINI NETO, 2007).

Estudos sobre avaliação da qualidade da madeira são essenciais para a determinação correta e sustentável do uso do tronco das árvores para diversos fins. Neste sentido, a determinação da qualidade da madeira de espécies arbóreas do bioma Cerrado pode contribuir com a sua correta utilização através da produção constante e racional deste recurso florestal, sem a degradação dos outros recursos e dos benefícios envolvidos, além da ordenação da produção com ciclos de cortes compatíveis com a regeneração da floresta, objetivos do manejo florestal sustentável (OLIVEIRA et al., 1998; PINHO, 2003).

Os principais parâmetros para estudos relacionados à tecnologia da madeira, que auxiliam na análise dos resultados e na destinação correta do produto de acordo com o uso, são a composição química (SJÖSTRÖM, 1993), a estrutura anatômica (BURGER e RICHTER, 1991) e a densidade (VITAL, 1984; MEDEIROS NETO, 2012).

Segundo Neves (2012), uma das propriedades da madeira mais estudadas para caracterização da sua qualidade é a densidade. A densidade está relacionada com as demais propriedades da madeira, sendo a responsável pelas características de energia, resistência e outras, que definem a sua utilização (JORGE e PEREIRA, 1998). Porém, Paes et al. (2013) afirmam que essa propriedade não deve ser estudada isoladamente já

que a composição química e as características anatômicas também constituem parâmetros para avaliação da qualidade da madeira.

Ao longo dos anos houve uma carência em estudos sobre a madeira de espécies do Cerrado (PAULA, 2005), tanto do ponto de vista anatômico quanto o tecnológico. Recentemente, trabalhos como os de Sonsin et al. (2012), Costa et al. (2014) e Jati et al. (2014) demonstram a importância do estudo da madeira de espécies florestais do Cerrado, sobretudo a relação entre as características anatômicas, químicas e físicas para definir a qualidade da madeira destas espécies. Apesar dos estudos relacionados, ainda são escassas as informações sobre a qualidade da madeira de muitas espécies nativas deste bioma.

De acordo com Vale et al. (2002), as madeiras nativas do Cerrado sempre foram utilizadas de forma indiscriminada para geração de energia, através da queima direta ou indireta na produção de carvão vegetal, sem que avaliações da qualidade da madeira e do carvão vegetal, fundamentais para a determinação do potencial energético do material a ser utilizado como fonte de energia (PROTÁSIO et al., 2012), fossem realizadas.

Estudos que envolvam a avaliação da madeira de espécies do Cerrado podem contribuir com o desenvolvimento do bioma, uma vez que as informações adquiridas, juntamente com outras pesquisas, poderão subsidiar a elaboração de políticas públicas de fomento ao manejo florestal sustentável de recursos madeireiros. Desta forma, torna-se fundamental a avaliação da qualidade da madeira de espécies florestais nativas do Bioma Cerrado, visando a sua exploração econômica sustentável.

As informações geradas serão importantes na tomada de decisão quanto à escolha das espécies arbóreas com qualidade da madeira adequada para os diferentes usos madeireiros, seja para produção de madeira serrada (produção de pisos, estruturas de telhado, esquadrias, móveis etc.) e/ou para produção de carvão vegetal para uso doméstico/siderúrgico, contribuindo para o desenvolvimento sustentável das regiões que compreendem o bioma Cerrado.

## **2 Revisão bibliográfica**

### *2.1 Bioma Cerrado*

Com uma área de aproximadamente 2 milhões de km<sup>2</sup> (24% do território brasileiro) o Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupa a parte central do país, estendendo-se do litoral nordeste do Maranhão até o norte do Paraná (BRASIL, 2007) e possui cerca de 30 milhões de habitantes ou 16% da população do país (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2010). De acordo com Klink e Machado (2005), 55% desses 2 milhões de hectares foram transformados em pastagens, culturas anuais e outros usos. Essa percentagem equivale a uma área de 880.000 km<sup>2</sup>, isto é, cerca do triplo da área desmatada na Amazônia brasileira.

Segundo Resende et al. (1996), o Cerrado está distribuído descontinuamente em 12 estados do Brasil, com destaque para Goiás, Tocantins, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal, que correspondem a maior parte de sua vegetação.

O Cerrado é caracterizado por uma formação de savana tropical e apresenta três tipos de fisionomias: formações florestais, savânicas e campestres (RIBEIRO e WALTER, 1998). Ao se tratar de fisionomia, floresta pode ser definida como, predominantemente, composta por espécies arbóreas, com formação de dossel, podendo ser contínuo ou descontínuo (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2010).

A adaptação das plantas ao ambiente em que elas vivem é o que caracteriza as plantas desta vegetação (FERNANDES, 1998). Segundo Ferreira (2012), o Cerrado é caracterizado por possuir vegetação formada por árvores pequenas e retorcidas e por possuir grande diversidade de espécies vegetais, fauna e solo. Por este motivo, de acordo com Meyers et al. (2000) e Brasil (2010) é considerado um dos biomas mais ricos e um dos mais ameaçados do mundo.

De acordo com Alho e Martins (1995), o Cerrado apresenta uma grande biodiversidade, em torno de 1/3 da biota brasileira e 5% da fauna e flora mundiais, devido à sua ampla extensão e a troca de espécies em função do contato com outros biomas.

## *2.2 Manejo Florestal Sustentável*

As florestas desempenham funções importantes do ponto de vista ecológico, econômico e social. São compostas por espécies florestais que apresentam grande potencial econômico e que servem de base para diversos setores industriais como fonte de alimentos, matérias-primas, combustíveis, além da madeira que contribui com o desenvolvimento regional (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007).

O manejo florestal pode ser definido como o gerenciamento da floresta a fim de obter benefícios econômicos e sociais, seguindo as práticas de sustentação do ecossistema instrumento de manejo (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2016). É, portanto, uma atividade econômica primordial para a conservação das florestas naturais, sendo que o interesse pela floresta através do manejo é o ponto chave para proibição de usos dos recursos florestais que impliquem em queimadas e desmatamentos (BRAZ et al., 2008).

O manejo florestal, aplicando o conceito de floresta balanceada, na qual as espécies são analisadas dentro de suas respectivas classes diamétricas, possibilita a escolha dos objetivos com que se deseja trabalhar, a exemplo da produção de lenha e carvão, madeira para serraria, produção de frutas, sendo uma estratégia que vem de encontro às necessidades dos pequenos produtores, possibilitando o aumento de sua renda (LIMA, 1997)

De acordo com Costa et al. (2014) há necessidade de desenvolver pesquisas científicas com espécies nativas, seja do Cerrado ou de outros biomas, a fim de levantar as informações dos recursos florestais disponíveis, como uso sustentável, manejo adequado, crescimento, biomassa, qualidade da madeira e etc. para elaborar um Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS). Para Schulze et al. (2005) a exploração madeireira acentuada em um número reduzido de espécies florestais compõe um risco de extinção de algumas delas, sendo então imprescindível o uso racional e sustentável dos recursos madeireiros disponíveis. Neste sentido, para a ampliação de espécies a serem exploradas no manejo florestal, faz-se necessário o desenvolvimento de projetos de pesquisa que possam estudar e fornecer informações sobre vários aspectos das espécies, incluindo a qualidade da sua madeira.

Segundo Schmidheiny (1992), a exploração florestal não sustentável resulta em redução da pobreza e colabora com o crescimento imediato, porém, a longo prazo, leva

ao descumprimento de metas ambientais e sociais, já que leva a uma redução dos recursos naturais.

### 2.3 Qualidade da madeira

A madeira apresenta diversas características possibilitando sua destinação para diferentes usos. Devido às características químicas e anatômicas, a madeira é um material bastante heterogêneo e isso se deve as variações nos planos que a madeira apresenta: tangencial, radial e longitudinal (NEVES, 2012). É necessário estudar as características de determinada madeira, avaliando então a sua qualidade que pode ser definida como um conjunto de características e propriedades que determinam o rendimento dos produtos finais e as adequações para os usos pretendidos.

O estudo da qualidade da madeira de espécies nativas é fundamental para avaliar um conjunto de características que determinam o seu uso, visando a exploração em regime de rendimento sustentável. Segundo Ruy (1998) a qualidade da madeira está relacionada ao uso final e ao processo utilizado para transformação da matéria prima em produto industrializado. A avaliação dessas características auxilia tanto na utilização de novas tecnologias para o uso racional da madeira, quanto no uso correto para geração de produtos com maior valor agregado.

Paula e Alves (1997) apresentam uma lista de espécies nativas do Brasil de boa qualidade para a produção de papel e energia de acordo com características anatômicas da madeira.

Para Lobão et al. (2010), tanto as características anatômicas que englobaram as dimensões das fibras, diâmetro, frequência e quantidade de vasos, como a densidade básica, foram eficientes para caracterização da qualidade da madeira e do uso final da madeira de *Aspidosperma polyneuron*; *Eucalyptus grandis*; *E. grandis x urophylla*; *Corymbia citriodora*; *Ochroma pyramidale*; *Eremanthus erithropappus*; *Swietenia macrophylla*; *Cedrela odorata*; *Cedrela fissilis*; *Manilkara inundata*; *Tabebuia serratifolia*; *Couratari macrosperma*; *Cedrelinga catenaeformis*; *Mezilaurus itauba* e *Carapa guianensis*.

### 2.3.1 CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DA MADEIRA

Segundo Paes et al. (2012) os vegetais lenhosos são uma das fontes mais utilizadas para produção de lenha, carvão vegetal, madeira para construções, estacas, moirões, entre outros e são utilizados para diversos fins desde o início da civilização.

De acordo com Vale et al. (2002), as madeiras nativas do Cerrado sempre foram utilizadas de forma indiscriminada para geração de energia, através da queima direta ou indireta na produção de carvão vegetal, sem que avaliações da qualidade da madeira e do carvão vegetal, fundamentais para a determinação do potencial energético do material a ser utilizado como fonte de energia (PROTÁSIO et al., 2012), fossem realizadas.

A densidade básica da madeira é uma de suas propriedades físicas mais relevantes para a identificação de espécies com potencial para produção de carvão vegetal de boa qualidade (TRUGILHO et al., 1997; MOURA e FIGUEIREDO, 2002).

O carvão vegetal é formado por três frações diferentes: materiais voláteis, carbono fixo e cinzas (SANTOS, 2010), cujos teores, segundo Vieira et al. (2013), estão relacionados, sendo essa relação mais forte entre o carbono fixo e o teor de materiais voláteis já que os teores de cinzas são encontrados em pequenas quantidades na madeira.

Segundo Bataus et al. (1989), entre as três frações do carvão vegetal, o teor de carbono fixo é a mais importante delas para a avaliação da qualidade do carvão como fonte energética, já que está diretamente relacionado com o poder calorífico. De acordo com Pinheiro et al. (2008), um maior teor de materiais voláteis facilita a ignição e a velocidade de combustão, no entanto, está relacionado a um menor teor de carbono fixo (COSTA, 2011). Estes, volatizam rapidamente durante a queima da biomassa influenciando na diminuição do tempo de residência do combustível dentro do equipamento de combustão podendo resultar em uma baixa eficiência energética (CHAVES et al., 2013).

As cinzas são substâncias que não entram em combustão, ficando na forma sólida e são indesejáveis para a produção de energia (CHAVES et al., 2013). Além disto, altas concentrações despendem mais limpezas em fornalhas ou outros equipamentos em que a madeira é utilizada como fonte de energia, danificando-os (OLIVEIRA, 2003).

No estudo de quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do Cerrado, Vale et al. (2002) destacaram as espécies *Dalbergia miscolobium*, *Pterodon pubescens* e *Sclerolobium paniculatum* por apresentarem maiores massas

específicas, elevada produção de massa seca, valores médios para carbono fixo e poderes caloríficos acima de média da área.

### 2.3.2 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA: VARIAÇÃO RADIAL E DIMENSÕES MÉDIAS DAS FIBRAS

As características da madeira relacionadas às fibras trazem informações que ajudam na determinação de espécies tanto para a geração de energia quanto para a produção de carvão vegetal, sendo madeiras com presença de fibras com parede celular espessa para fins energéticos, e destaca que essa característica está relacionada com a alta densidade da mesma (PÁDUA, 2009). Para Burger e Richter (1991), as fibras da madeira de folhosas, variam de 0,75 a 1,30 mm de comprimento. De acordo com Moreira (1999) as folhosas apresentam uma estrutura mais complexa devido ao maior número de arranjos e tipos celulares quando comparadas as coníferas.

Os parâmetros utilizados para avaliação da qualidade da madeira relacionados às fibras são: comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular. De acordo com Zobel (1992), a largura das células está associada ao crescimento sazonal e o diâmetro do lume é dependente da largura e espessura da parede das fibras. O mesmo autor ressalta que o comprimento das células pode estar relacionado a fatores genéticos e ainda pode ser modificado por alterações de crescimento.

No estudo comparativo da anatomia da madeira de 11 espécies (Tabela 1) de dois habitats do Cerrado (Cerrado *sensu stricto* e mata de galeria), Sonsin et al. (2012) obtiveram uma variação de comprimento de fibras de 555  $\mu\text{m}$  a 1495  $\mu\text{m}$  para *Stryphnodendron polyphyllum* Mart. e *Siparuna cujabana* (Mart. ex Tul.) A. DC., respectivamente, na mata de galeria e 599  $\mu\text{m}$  a 1934  $\mu\text{m}$  para *Stryphnodendron polyphyllum* e *Siparuna cujabana*, respectivamente para o cerrado *sensu stricto*.

Ao realizar a caracterização anatômica da madeira de sete espécies da Amazônia visando a produção de energia e papel, Paula (2005) concluiu que a madeira apresentava mais substâncias geradoras de energia quando as fibras da mesma eram formadas com maiores proporções de celulose, lignina e hemicelulose e fração parede. O mesmo autor afirma que para a geração de energia são recomendadas madeiras com grande quantidade de fibras de fração parede alta.

Tabela 1 – Comprimento das fibras de espécies do Cerrado encontrado por Sonsin et al. (2012).

| ESPÉCIE  | Comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ) |                |
|--|--|----------------|
|  | M. g.                                    | C s. s.        |
| <i>Tapirira guianensis</i> Aubl.                             | 670 $\pm$ 181                            | 792 $\pm$ 169  |
| <i>Tabernaemontana catharinensis</i> A. DC.                  | 831 $\pm$ 174                            | 811 $\pm$ 172  |
| <i>Schefflera vinosa</i> (Cham. e Schltld.) Frodin e Fiaschi | 820 $\pm$ 106                            | 833 $\pm$ 175  |
| <i>Dimorphandra mollis</i> Benth.                            | 783 $\pm$ 146                            | 896 $\pm$ 150  |
| <i>Stryphnodendron polyphyllum</i> Mart.                     | 555 $\pm$ 111                            | 599 $\pm$ 120  |
| <i>Acosmium subelegans</i> (Mohlenbr.) Yakovlev              | 852 $\pm$ 153                            | 976 $\pm$ 207  |
| <i>Tibouchina stenocarpa</i> (DC.) Cogn.                     | 616 $\pm$ 92                             | 572 $\pm$ 133  |
| <i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.               | 979 $\pm$ 144                            | 964 $\pm$ 170  |
| <i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.                           | 777 $\pm$ 121                            | 721 $\pm$ 166  |
| <i>Siparuna cujabana</i> (Mart. ex Tul.) A.DC.               | 1495 $\pm$ 237                           | 1934 $\pm$ 392 |
| <i>Vochysia tucanorum</i> Mart.                              | 769 $\pm$ 101                            | 645 $\pm$ 127  |

M. g.: Mata de galeria; C. s.s.: Cerrado *sensu stricto*. Média seguida de desvio padrão.

Em seus estudos sobre anatomia comparada do lenho de *Caryocar brasiliense* Camb., Voigt et al. (2010) encontraram valores médios de 2085,05  $\mu\text{m}$  e 2151,99  $\mu\text{m}$  de comprimento de fibras em ambientes de cerradão e cerrado *sensu stricto*, respectivamente. A presença de fibras mais longas em *Caryocar brasiliense* foi verificada por estes autores.

As características das fibras de algumas espécies do Cerrado avaliadas no presente estudo foram descritas por Sonsin et al. (2014) (Tabela 2).

Madeiras com grande quantidade de fibras com fração parede acima de 60% apresentam boa qualidade e são indicadas para a geração de energia. Diferentemente de madeiras com alta porcentagem de vasos e parênquima, já que estes fazem com que a fração parede seja baixa (PAULA, 1999).

Tabela 2 – Comprimento e espessura da parede das fibras de espécies do Cerrado encontrados por Sonsin et al. (2014).

| ESPÉCIE                                   | CF (µm)  | EPF (µm) |
|---|----------|----------|
| <i>Aspidosperma tomentosum</i> Schott     | 840±224  | 6±1      |
| <i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth       | 1085±201 | 7±1      |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) Rich. | 1151±201 | 9±4      |
| <i>Caryocar brasiliense</i> Camb.         | 1164±273 | 5±1      |
| <i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.       | 846±177  | 4±2      |
| <i>Qualea grandiflora</i> Mart.           | 590±130  | 6±2      |
| <i>Tabebuia aurea</i> (Silva e Manso)     | 693±117  | 4±1      |
| <i>Tapirira guianensis</i> Aubl.          | 792±169  | 4±1      |

CF: comprimento das fibras; EP: espessura da parede fibras. Média seguida de desvio padrão.

De acordo com Melo Junior et al. (2011), em seus estudos sobre anatomia ecológica do lenho de *Copaifera langsdorffii* em diferentes condições edáficas (neossolo flúvico, latossolo e arenito) do Cerrado sul-brasileiro, as fibras com maior comprimento, espessura da parede e diâmetro estão presentes nas árvores de neossolo flúvico, seguidas pelas árvores de latossolo. Essa variação nas dimensões das fibras indica que a deficiência hídrica, tanto no arenito como no latossolo limita o crescimento das células.

Segundo Barrichelo e Brito (1979), o estudo da variação radial que ocorre no lenho das árvores são relevantes sob o ponto de vista da tecnologia da madeira. O modelo de variação dos elementos celulares no xilema pode variar muito de acordo com a espécie, apresentando, as vezes, aumento na frequência, dimensão, proporção e arranjo na direção medula-casca ou diminuição desses valores (MELO et al., 2013). Além disso, há espécies que quase não apresentam variação (WILKES, 1988).

Os resultados encontrados por Lobão et al. (2012) na avaliação da qualidade do lenho de árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Hub. ex Ducke no Acre, apontaram diferenças significativas entre as posições radiais do lenho em relação à estrutura anatômico-microscópica, sendo que para o comprimento e espessura da parede das fibras houve um aumento de 31 e 36%, respectivamente, na direção medula-casca. Já

a largura e o diâmetro das fibras apresentaram uma redução de 14 e 17%, respectivamente.

No estudo sobre variação radial da densidade básica e dimensões celulares da madeira de *Cariniana legalis* (Mart.) O. Kuntze em função da procedência, Lima et al. (2011) encontraram uma tendência de aumento do comprimento e da espessura da parede das fibras no sentido medula-casca.

Segundo Melo et al. (2013), o comprimento das fibras foi a única variável que apresentou variação no sentido medula-casca em *Astronium lecointei* Ducke, o qual foi menor na posição próxima à medula (780,66 µm), estabilizando-se nas posições posteriores.

Para o comprimento das fibras de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn houve um aumento no sentido medula-casca, porém não foram encontradas variações estaticamente significativas no mesmo sentido para largura das fibras, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras (NISGOSKI et al., 2012).

### 2.3.3 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA: VARIAÇÃO RADIAL E DIMENSÕES MÉDIAS DOS VASOS

Os parâmetros utilizados para mensuração dos vasos e determinação da qualidade da madeira, juntamente com as demais propriedades são: área, frequência e diâmetro tangencial. Os vasos apresentam relação direta com a densidade da madeira: a densidade está relacionada com a porosidade, que conseqüentemente, corresponde ao volume vazio dos poros (BOWYER et al., 2003).

No estudo com *Blepharocalyx salicifolius* (Kunth) O. Berg., Denardi e Marchiori (2005) concluíram que a presença de grandes quantidades de poros estreitos, vasos e fibras curtos são estratégias da espécie que é adaptada à região. Vasos com maior diâmetro são mais eficientes na condução de água quando comparados aos com diâmetro reduzido. Isso porque apresentam menos fricção e transportam mais líquido em relação a mesma área de tecido em espécies florestais (BAAS et al., 1983). De acordo com Santos (2010), madeiras com alta porcentagem de vasos e com dimensões elevadas apresentam baixa massa específica e características indesejáveis para a produção de carvão por isso não são indicadas para esse fim.

Em estudo sobre caracterização anatômica, secagem e carbonização da madeira de espécies do Cerrado, Ferreira (2012) encontrou o maior valor médio de comprimento de vasos de 636  $\mu\text{m}$  em *Casearia sylvestris* Swartz., ao passo que o menor valor médio encontrado foi para *Guazuma ulmifolia* Lam. com 283  $\mu\text{m}$  de comprimento. Em relação ao diâmetro dos elementos de vaso, *Trema micranta* obteve o maior valor e *Rapanea ferrugínea* (L.) Blum. o menor, com 128  $\mu\text{m}$  e 79  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Assim como para as fibras, Sonsin et al. (2014) descreveram as características dos vasos de algumas espécies do Cerrado avaliadas no presente estudo (Tabela 3).

Tabela 3 – Comprimento, diâmetro e frequência de vasos das espécies estudadas por Sonsin et al. (2014).

| ESPÉCIE                                   | CV ( $\mu\text{m}$ ) | DV ( $\mu\text{m}$ ) | FV (vasos/ $\text{mm}^2$ ) |
|---|----------------------|----------------------|----------------------------|
| <i>Aspidosperma tomentosum</i> Schott     | 362 $\pm$ 91         | 47 $\pm$ 12          | 154 $\pm$ 18               |
| <i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth       | 275 $\pm$ 27         | 84 $\pm$ 17          | 11 $\pm$ 5                 |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) Rich. | 558 $\pm$ 151        | 52 $\pm$ 12          | 103 $\pm$ 18               |
| <i>Caryocar brasiliense</i> Camb.         | 587 $\pm$ 120        | 96 $\pm$ 19          | 23 $\pm$ 10                |
| <i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.       | 343 $\pm$ 60         | 166 $\pm$ 29         | 13 $\pm$ 8                 |
| <i>Qualea grandiflora</i> Mart.           | 250 $\pm$ 57         | 84 $\pm$ 161         | 18 $\pm$ 12                |
| <i>Tabebuia aurea</i> (Silva e Manso)     | 232 $\pm$ 56         | 78 $\pm$ 20          | 32 $\pm$ 11                |
| <i>Tapirira guianensis</i> Aubl.          | 792 $\pm$ 169        | 70 $\pm$ 21          | 31 $\pm$ 14                |

CV: comprimento dos vasos; DV: diâmetro dos vasos, FV: frequência de vasos. Média seguida de desvio padrão.

Em estudo com a espécie *Plathymenia reticulata* Benth, Longui et al. (2012) encontraram diferenças significativas do diâmetro e frequência de vasos entre as posições radiais, sendo que os maiores valores ocorreram próximo a casca.

Os resultados encontrados por Lobão et al. (2012) no trabalho sobre qualidade do lenho de árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* no Acre, apresentaram um aumento no diâmetro dos vasos e na área ocupada por eles de 40 e 77%, respectivamente, na direção medula-casca, enquanto que a frequência de vasos não apresentou diferença significativa entre as posições radiais na madeira das espécies.

Conforme os resultados obtidos por Chagas et al. (2007) no trabalho sobre a caracterização macro e microscópica da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish, Asteraceae), houve um aumento do diâmetro tangencial (de 64-75 a 102-130  $\mu\text{m}$ ), redução da frequência (15-22 a 10-12/ $\text{mm}^2$ ) e aumento da área percentual (5-10 a 8-15%) dos vasos, na direção medula-casca.

Nas amostras do lenho das árvores de *Gmelina arborea* Linn. Roxb., Roque e Tomazello Filho (2009) observaram um aumento significativo na porcentagem de área e diâmetro, redução da frequência e sem variação da porcentagem de vasos, no sentido radial.

Diferenças significativas entre as posições radiais também foram encontradas por Lima et al. (2011) no trabalho sobre a variação radial da densidade básica e dimensões celulares da madeira de *Cariniana legalis* (Mart.) O. Kuntze em função da procedência, onde o comprimento e diâmetro dos vasos aumentaram no sentido medula-casca e a frequência diminuiu. O aumento no diâmetro dos vasos na direção medula-casca também foi observado em espécies nativas nos estudos de Dünisch et al. (2004) e Longui et al. (2009) com as espécies com *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. e *Luehea divaricata* Mart., respectivamente.

Segundo o trabalho de Melo et al. (2013) sobre a variação anatômica no lenho de *Astronium lecointei* Ducke, foi constatada frequência média de vasos estatisticamente semelhante para as posições próximas a medula e ao câmbio, sendo estas superiores à posição intermediária. Para a variável diâmetro dos vasos, verificaram vasos de menor diâmetro (122,66  $\mu\text{m}$ ) na região da medula e nas posições intermediária e próxima ao câmbio, esses valores foram estáveis.

#### 2.3.4 DENSIDADE

Segundo Rezende et al. (1988), a densidade aparente pode ser definida como a relação entre a massa e o volume, determinada nas mesmas condições de umidade, e variável dependente do valor de umidade. A densidade básica do lenho é definida por Bowyer et al. (2003) como a massa seca por unidade de volume saturado em  $\text{Kg}/\text{m}^3$ . É

um parâmetro fundamental para avaliação da qualidade da madeira porque é altamente relacionada às demais características.

Como já indicado anteriormente, densidade é uma das propriedades mais importantes do lenho e mais estudada e pode variar de 0,13 a 1,40 g/cm<sup>3</sup> (BURGER e RICHTER, 1991).

De acordo com os estudos de Jati et al. (2014) sobre a densidade da madeira de árvores em savanas do norte da Amazônia brasileira, os autores encontraram uma variação nos valores médios de densidade de 0,625 g/cm<sup>3</sup> para *Antonia ovata* Pohl. e 0,689 g/cm<sup>3</sup> para *Bowdichia virgilioides* Kunth.

Em estudo sobre qualidade da madeira de cinco espécies do Cerrado para produção de carvão vegetal, a *Casearia sylvestris* foi a que apresentou a maior densidade básica média, enquanto que *Trema micranta* (L.) Blum. apresentou a menor (COSTA et al., 2014). A variação de todas as espécies foi de 0,364 a 0,625 g/cm<sup>3</sup>. Vale et al. (2002) avaliando a qualidade da madeira de 47 espécies do Cerrado para fins energéticos, encontraram uma variação de densidade básica de 0,20 a 0,78 g/cm<sup>3</sup>.

Segundo Costa et al. (2014), a espécie *Casearia sylvestris*, nativa do cerrado mineiro, apresenta potencial para a geração de bioenergia e carvão vegetal, considerando como referência alguns clones/espécies do gênero *Eucalyptus*. Porém ressaltam a necessidade de estudos ligados ao melhoramento genético dessa espécie para seu uso bioenergético.

Assim como as características anatômicas, a densidade da madeira pode variar entre gêneros, espécies de um mesmo gênero, entre árvores dentro de uma mesma espécie e entre diferentes partes das árvores, no sentido longitudinal e radial (SILVA et al., 2004). Estas variações, segundo Kollmann e Cotê (1968) se devem às diferenças na estrutura anatômica da madeira e na quantidade de substâncias extrativas presentes por unidade de volume, sendo função, principalmente, da idade da árvore, genótipo, índice de sítio, clima, localização geográfica e tratos silviculturais.

Ao caracterizar a variação radial da densidade aparente do lenho das árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* no Acre, pela técnica de densitometria de raios X, Lobão et al. (2012) constataram que esta é crescente no sentido medula-casca e que a densidade aparente média foi de 0,42 g/cm<sup>3</sup> e 0,51 g/cm<sup>3</sup> para árvores da Reserva Experimental Catuaba e do Parque Zoobotânico, respectivamente, e concluíram que a espécie apresenta um padrão comum de variação radial da densidade aparente do lenho das árvores.

As amostras do lenho das árvores de *Cedrela sp.* coletadas por Lobão (2011) na Fazenda São Jorge, município de Sena Madureira, não apresentaram diferenças significativas entre posições radiais, uma vez que, houve um pequeno aumento no perfil radial da densidade aparente.

De acordo com os resultados obtidos por Lima et al. (2011), ao avaliar a variação radial da densidade básica da espécie *Cariniana legalis* (Mart.) O. Kuntze em função da procedência, as posições radiais diferiram significativamente entre si, sendo que a região próxima a casca apresentou a menor densidade básica e a região próxima a medula a maior, ou seja, diminuição da densidade na direção medula-casca.

Na caracterização da variação anatômica radial do lenho de *Luehea divaricata* (açoita-cavalo) e sua influência na densidade aparente, Longui et al. (2009) verificaram menor densidade aparente na região da medula (0,55 g/cm<sup>3</sup>) não havendo diferença estatística entre as outras duas regiões.

A densidade básica da madeira aumentou significativamente da medula para a casca na espécie *Pittosporum undulatum* Vent. de acordo com os resultados obtidos por Longui et al. (2011).

### **3 Objetivos**

#### *3.1 Geral*

Determinar o potencial madeireiro de espécies nativas do Cerrado através da caracterização tecnológica de suas madeiras visando a sua utilização correta para subsidiar o manejo florestal sustentável dos recursos florestais madeireiros, diversificar as espécies exploradas e diminuir a pressão sobre as que estão em risco de extinção.

#### *3.2 Específicos*

- a) Gerar informações sobre as características anatômicas da madeira,
- b) Determinar a densidade aparente da madeira;
- c) Realizar a caracterização energética do carvão vegetal das espécies;
- d) Inferir sobre a qualidade da madeira de espécies arbóreas pouco utilizadas comercialmente com potencial de uso madeireiro sustentável e indicá-las, de acordo com

seus potenciais de uso, para serem utilizadas como fonte de energia (carvão vegetal ou lenha), na construção civil e na indústria de papel e celulose.

## **4 Material e Métodos**

### *4.1 Seleção das árvores e definição dos locais de estudo*

A avaliação do potencial madeireiro das espécies do Cerrado foi realizada em amostras do tronco, extraídas de forma não destrutiva, de espécies arbóreas georreferenciadas e demarcadas pelo Projeto “Semeando o Bioma Cerrado”, desenvolvido pela Rede de Sementes do Cerrado e financiado pelo Programa Petrobrás Ambiental. O projeto teve como objetivo estimular os elos da cadeia produtiva de sementes e mudas florestais de espécies nativas do Cerrado a adequarem-se à legislação e adotarem modelos eficientes de produção para viabilizar programas, projetos e ações que promovam o desenvolvimento sustentável.

Durante sua execução, foram demarcadas e georreferenciadas mais de 3 mil árvores matrizes, totalizando 200 espécies florestais arbóreas nativas do bioma Cerrado nos municípios do Estado de Goiás e no Distrito Federal (Figura 1), das quais 22 espécies foram utilizadas neste trabalho.

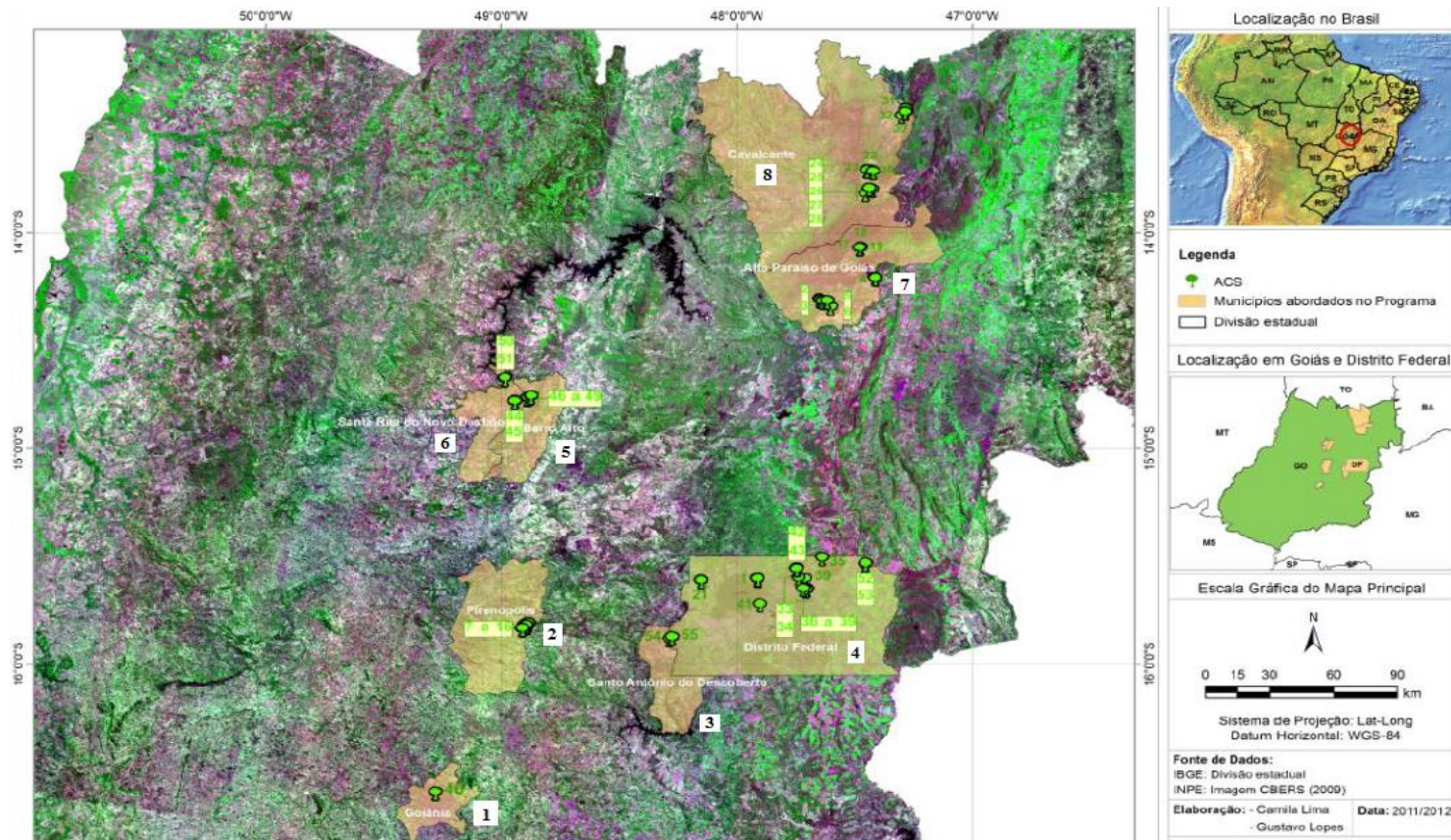


Figura 1 – Áreas abrangidas pelo projeto “Semeando o Bioma Cerrado”, evidenciando as áreas de coleta de amostras do presente estudo: Pirenópolis (2) e Distrito Federal (4). Fonte: Rede de Sementes do Cerrado (2012).

#### *4.2 Caracterização dos locais de estudo*

O estudo foi desenvolvido em áreas de Cerrado localizadas próximas ao Parque Estadual dos Pireneus no município de Pirenópolis (GO) e no Jardim Botânico de Brasília.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região de Pirenópolis é do tipo Aw caracterizado por climas úmidos tropicais (A) com duas estações bem definidas: seca no inverno e úmida no verão (w) (NIMER, 1989) e o do Distrito Federal pela classificação de Köppen e segundo Nimer (1989), o clima é do tipo Aw, com temperatura média anual de 20,4 °C, máxima de 28,5 °C e mínima de 12,0 °C e precipitação média anual de 1.500 mm, com invernos secos e verões úmidos.

#### *4.3 Seleção das árvores e coleta das amostras do tronco*

Foram selecionadas 22 espécies, pertencentes a 13 famílias, em Pirenópolis e Brasília, consideradas generalistas por apresentarem ampla distribuição (RATTER et al., 2003) e pelo seu interesse comercial (Tabela 4).

Das espécies selecionadas foram retiradas amostras radiais na altura do DAP (1,30 m) de três árvores por espécie (total de 66 árvores), de forma não destrutiva, utilizando-se sonda de incremento (Figura 2 A - C) e sonda metálica com extrator motorizado (Figura 2 D - F), sendo: (i) uma amostra para análise da densidade aparente por densitometria de raios X e (ii) uma amostra para a caracterização anatômica (dimensões dos vasos e fibras) e energética (teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas).

Os orifícios deixados com a retirada das amostras de madeira do tronco foram tampados com cavilhas de madeira imersas em solução antibactericida e antifúngica, para proteção das árvores (Figura 2 C e F). As amostras coletadas foram acondicionadas em suportes específicos e levadas para o Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia da Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, em Goiânia/GO e de Anatomia, Identificação e Densitometria de Raios X em Madeira, da ESALQ-USP, em Piracicaba/SP. As amostras coletadas foram imersas em água para evitar o desenvolvimento de fungos, onde ficaram até a execução das análises laboratoriais.

Tabela 4 – Família, nome científico e popular das espécies estudadas.

| FAMÍLIA          | NOME CIENTÍFICO  | NOME POPULAR        |
|------------------|--|---------------------|
| ANACARDIACEAE    | <i>Astronium fraxinifolium</i> Schott                                | Gonçalo-Alves       |
|                  | <i>Tapirira guianensis</i> Aubl.                                     | Pau-Pombo           |
| APOCYNACEAE      | <i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.                                 | Peroba do Cerrado   |
| BIGNONIACEAE     | <i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso)<br>Benth. & Hook. f. Ex S. Moore | Ipê-Amarelo         |
|                  | <i>Caryocar brasiliense</i> Camb.                                    | Pequi               |
| CLUSIACEAE       | <i>Kielmeyera coriacea</i> Mart.                                     | Pau-Santo           |
| FABACEAE         | <i>Acosmium dasycarpum</i> (Vogel)<br>Yakovlev                       | Perobinha           |
|                  | <i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth                                  | Sucupira Preta      |
|                  | <i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.                                  | Copaíba             |
|                  | <i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart.                                   | Jatobá-do-Cerrado   |
|                  | <i>Plathymenia reticulata</i> Benth.                                 | Vinhático           |
|                  | <i>Tachigali subvelutina</i> Benth.                                  | Carvoeiro           |
|                  | <i>Tachigali vulgaris</i> L.F. Gomes<br>da Silva & H.C. Lima         | Angá-da-Mata        |
|                  | <i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) Rich.                            | Murici              |
| MALVACEAE        | <i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. &<br>Zucc.) Schott & Endl.         | Paineira-do-Cerrado |
|                  | <i>Miconia cuspidata</i> Naudin                                      | Pixirica            |
| MELASTOMATAACEAE | <i>Miconia cuspidata</i> Naudin                                      | Pixirica            |
| MYRTACEAE        | <i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth)<br>O. Berg.                | Murta               |
|                  | <i>Pouteria ramiflora</i> Radlk.                                     | Curriola            |
| SIMAROUBACEAE    | <i>Simarouba versicolor</i> St. Hil.                                 | Mata Cachorro       |
| VOCHYSIACEAE     | <i>Qualea grandiflora</i> Mart.                                      | Pau-Terrão          |
|                  | <i>Qualea parviflora</i> Mart.                                       | Pau-Terra roxo      |
|                  | <i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl                                      | Gomeira             |

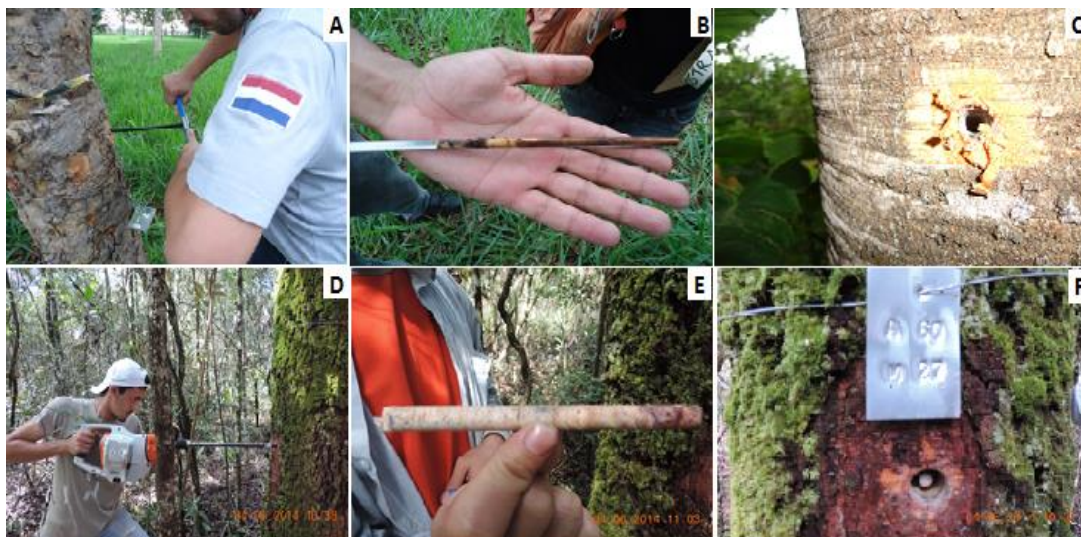


Figura 2 – Metodologia de extração de amostras de madeira do tronco das árvores por método não destrutivo: extração com sonda de incremento com 6 mm de diâmetro (A, B, C); extração com sonda metálica e extrator motorizado com 25 mm de diâmetro (D, E, F).

#### 4.4 Descrição macro e microscópica da madeira das espécies estudadas

Para a descrição macro e microscópica foram feitas observações de características anatômicas e propriedades organolépticas nos planos transversais, tangenciais e radiais da madeira das espécies com base na chave interativa de identificação de madeiras comerciais do Brasil (CORADIN, 2010) e com o auxílio de uma lente de aumento de 10 x e microscópio de luz com aumento de 40 x.

As madeiras utilizadas para a descrição estão depositadas na xiloteca do Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia (LQMBio), Vera Terezinha Rauber Coradin, da UFG.

#### 4.5 Qualidade da madeira e definições de usos

A avaliação da qualidade da madeira das espécies analisadas foi realizada através da avaliação da densidade aparente (variação radial e valores médios) e das características anatômicas (variação radial e valores médios da espessura da parede, comprimento,

largura total e diâmetro do lume das fibras e frequência, % de área ocupada e diâmetro tangencial dos vasos) e energéticas (valores médios dos teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas).

#### 4.5.1 Densidade aparente por densitometria de raios X

As amostras coletadas (Figura 2B) foram levadas para o Laboratório de Anatomia, Identificação e Densitometria de Raios X em Madeira, da ESALQ-USP, onde foram realizadas as análises de densidade. Destas foram cortadas amostras diametrais, coladas em suporte de madeira e seccionadas no sentido transversal (2,0 mm de espessura) em aparelho de dupla serra circular paralela (Figura 3A).

As seções da madeira foram acondicionadas em sala climatizada (12 h, 20°C, 50% UR) (Figura 3B). Para análise da densidade aparente do perfil densitométrico foi utilizado o equipamento QTRS-01X *Tree-Ring Analyzer* (Figura 3C), em que as amostras da madeira foram dispostas em suportes (Figura 3E), inseridas no compartimento de leitura (Figura 3D) e analisadas diretamente no sentido radial, através de fonte colimada de feixes de raios X. O ajuste de precisão entre os pontos mensurados foi de 40 µm e os gráficos foram gerados utilizando o software Excel do pacote Microsoft Office.

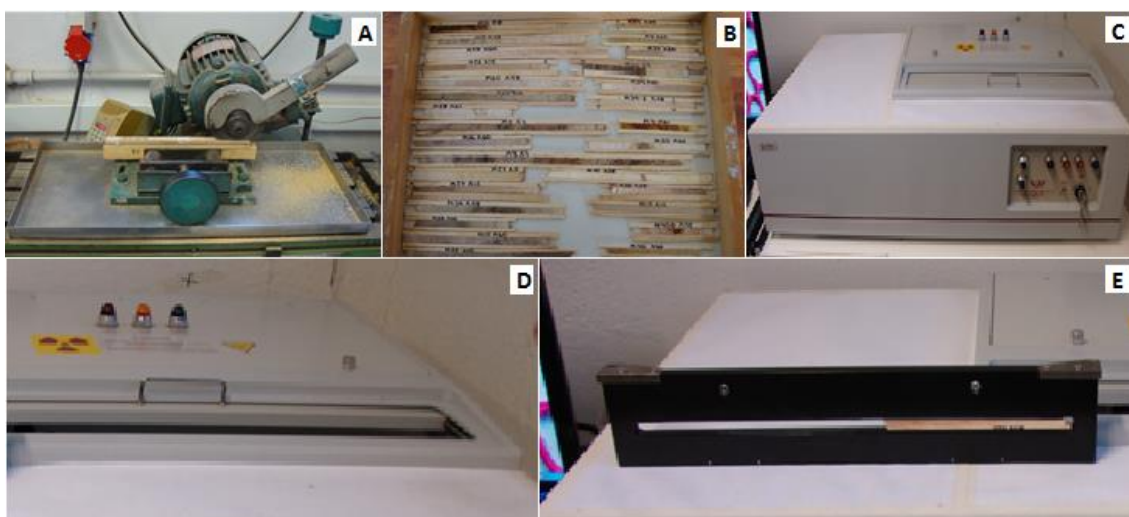


Figura 3 – Metodologia de densitometria de raios X: (A) corte das amostras em serra dupla, (B) suporte com as amostras de madeira, (C) equipamento de densitometria de raios X, (D) compartimento de leitura do equipamento de densitometria de raios X, (E) suporte de leitura.

Os perfis radiais de densidade aparente da madeira permitiram verificar importantes e significativas respostas da variação da densidade medula-casca, bem como a determinação dos valores médios para cada espécie estudada.

#### 4.5.2 Características anatômicas da madeira

##### 4.5.2.1 FIBRAS

As amostras coletadas com a sonda metálica com extrator motorizado (Figura 2E) foram levadas para o Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia da Universidade Federal de Goiás, onde foram realizadas as análises das fibras. Nestas foram demarcados e cortados corpos-de-prova em três posições radiais, na direção medula-casca (0, 50 e 100% do raio), para obtenção de material macerado pelo método de Franklin (JOHANSEN, 1940).

Da suspensão de fibras obtidas pela maceração, estas foram coradas com safranina e preparadas lâminas histológicas temporárias, coletando-se imagens sob microscopia de luz (ampliação de 40 x) para a mensuração do seu comprimento e microscopia de luz (ampliação de 400 x) para a mensuração da espessura da parede, diâmetro do lume e largura total (Figura 4), utilizando-se programa de análise de imagem *Image Pro Plus*, atendendo as normas da IAWA (IAWA COMMITTEE, 1989).

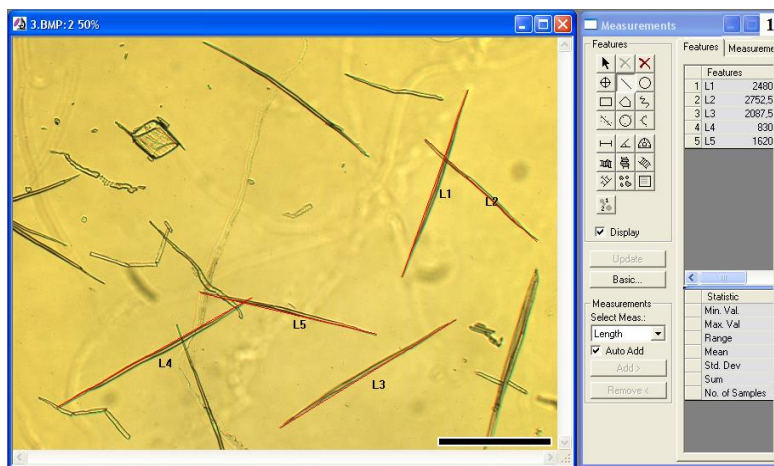


Figura 4 – Avaliação do comprimento das fibras no programa de análise de imagem *Image Pro Plus*. Ampliação: 40 x. Barra: 300  $\mu$ m.

#### 4.5.2.2 VASOS

As amostras coletadas das árvores (Figura 2E) foram levadas para o Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia da Universidade Federal de Goiás, onde foram realizadas as análises dos vasos. Nestas foram demarcados e cortados corpos-de-prova em três posições radiais, na direção medula-casca (0, 50 e 100% do raio), para obtenção de cortes histológicos em micrótomo de deslizamento com navalhas descartáveis.

Para a confecção das lâminas permanentes, os cortes histológicos da madeira (15-20 µm de espessura) foram clarificados com hipoclorito de sódio, 1:1, lavados em água destilada (ácido acético 1%), desidratados em série alcoólica (etanol 30-100%), lavados em xilol, corados com safranina e montados sob lamínula com bálsamo do Canadá. Destas, foram coletadas imagens digitais (3 imagens/posição radial) sob microscopia de luz (ampliação de 40 x) para a mensuração do diâmetro, área ocupada e frequência de vasos (Eq. 1 e Figura 5), aplicando o programa de análise de imagem *Image Pro Plus* e atendendo as normas da IAWA (IAWA COMMITTEE, 1989) (Figura 5).

$$\text{Frequência de vasos} = \left( \frac{n^{\circ} \text{ de vasos}}{\text{área da imagem}} \right) * 100 \quad (1)$$

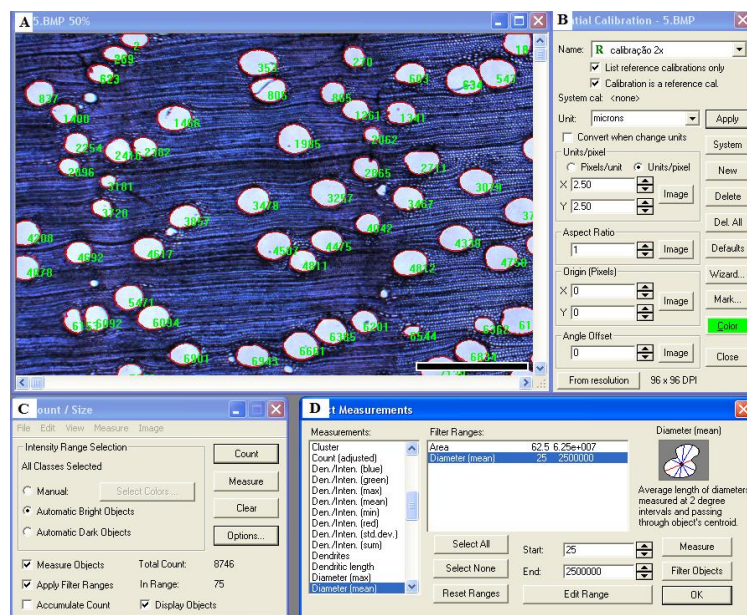


Figura 5 – Mensuração do diâmetro, área ocupada e frequência de vasos no programa de análise de imagem *Image Pro Plus*. Barra: 300µm.

Os valores foram relacionados com as posições radiais e demais propriedades da madeira (dimensões das fibras e densidade) das árvores, obtendo-se valores médios para cada árvore/espécie.

#### 4.5.3 Características energéticas da madeira

Os procedimentos para a análise química imediata basearam-se nas normas ASTM D1762-64 e ABNT NBR 8112/83. Para a realização das análises, as amostras foram transformadas em serragem utilizando-se um moinho de facas do tipo willey (Figura 6A), e na sequência foram submetidas a separação mecânica no agitador orbital (Figura 6B) de peneiras com batidas intermitentes, para a seleção da fração retida na peneira nº 24 internacional, com malha de 60 mesh.

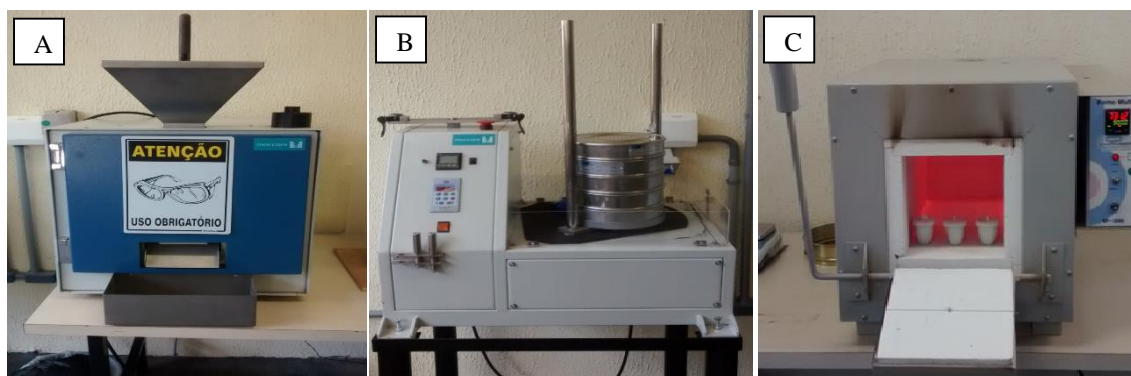


Figura 6 – Preparo da biomassa para as análises químicas: (A) moinho de facas do tipo willey, (B) agitador orbital de peneiras, (C) forno mufla com cadinhos de porcelana e biomassa.

##### 4.5.3.1 TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS

O teor de materiais voláteis foi determinado pelo aquecimento da biomassa a 900°C, em forno mufla (Figura 6C).

Para a determinação do teor de materiais voláteis, foram adotados os seguintes procedimentos: (i) pesou-se 1,0 g da biomassa seca previamente em estufa a 103°C; (ii) colocou-se a biomassa em cadinho de porcelana com tampa, previamente seco e tarado;

(iii) colocou-se o cadinho com a biomassa sobre a porta da mufla aquecida durante 3 minutos; (iv) colocou-se o cadinho no interior da mufla por 10 minutos e (v) retirou-se o cadinho da mufla, deixando esfriar no dessecador para posterior pesagem. O teor de material volátil foi calculado de acordo com a Eq. 2.

$$MV = \frac{P1 - P2}{P1} * 100 \quad (2)$$

Em que:

MV: Teor de materiais voláteis (%);

P1: Massa inicial do cadinho + amostra (g);

P2: Massa final do cadinho + amostra (g).

#### 4.5.3.2 TEOR DE CINZAS

O teor de cinzas foi determinado após a biomassa sofrer combustão completa em forno mufla aquecida a 600°C, durante 6 horas.

Para tanto, foram adotados os seguintes passos: (i) pesou-se 1,0 g de material que passou pela peneira de 40 mesh e ficou retido na de 60 mesh; (ii) secou-se o material em estufa a 103°C por 2 horas; (iii) colocou-se a amostra em um cadinho de platina sem a tampa, previamente seco e tarado; (iv) aqueceu-se o forno mufla a  $600 \pm 10^\circ \text{C}$ , colocou-se o cadinho com a amostra dentro da mufla de porta fechada e deixou-se por um período de seis horas até a completa calcinação; (v) retirou-se a amostra da mufla, deixou esfriar no dessecador e pesou. O teor de cinzas foi obtido pela Eq. 3.

$$CZ = \frac{Mr}{Ma} * 100 \quad (3)$$

Em que:

CZ: Teor de cinzas no carvão, em %

Mr: Massa do resíduo, em gramas;

Ma: Massa da amostra seca, em gramas.

#### 4.5.3.3 TEOR DE CARBONO FIXO

O teor de carbono fixo é uma medida indireta e foi calculado através da Eq. 4.

$$CF = 100 - (CZ + MV) \quad (4)$$

Em que:

CF: Teor de Carbono Fixo (%);

CZ: Teor de Cinzas (%);

MV: Teor de Materiais Voláteis (%).

#### 4.6 Potenciais de usos das espécies estudadas

Com os resultados obtidos em relação aos parâmetros anatômicos, físico e energéticos as espécies foram indicadas aos usos mais adequados. Para a produção de energia, na forma de lenha, as espécies foram indicadas de acordo com a densidade e espessura da parede das fibras. Para a produção de carvão vegetal foram levados em consideração os teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas e, ainda, a densidade.

Para o índice de Runkel, as espécies são classificadas em 5 classes: índice com até 0,25 é considerada excelente para papel; de 0,25 a 0,50 é muito boa; de 0,50 a 1,00 é boa; de 1,00 a 2,00 é regular e acima de 2,00 não devem ser utilizadas para produção de papel porque são compostas por fibras com paredes espessas.

Para serem utilizadas na construção civil, as espécies foram indicadas de acordo com a densidade e baseando-se na classificação dos usos da madeira na construção civil descrita por NAHUZ (1974) e INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1989) (Tabela 5).

Tabela 5 – Classificação dos usos da madeira na construção civil (NAHUZ, 1974; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1989).

| CLASSES                                | USOS   | DENSIDADE APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )   |
|--|--|---|
| Pesada interna                         | Peças de madeira na forma de vigas e caibros empregadas como componentes de estruturas de telhado.                   | Não inferior a 0,71                       |
| Leve, em esquadrias                    | Portas, venezianas, caixilhos etc.   | Não inferior a 0,53 e não superior a 0,84 |
| Leve externa e leve interna estrutural | Pontaletes, andaimes, fôrmas para concreto etc. Partes secundárias de estruturas internas, como ripas, caibros, etc. | Não inferior a 0,53 e não superior a 0,84 |
| Leve interna, decorativa               | Lambris, painéis, molduras, perfilados, guarnições, forros, etc.   | _____                                     |
| Leve interna, de utilidade geral       | Cordões, guarnições, rodapés, etc.   | Não superior a 0,7                        |
| Assoalhos domésticos                   | Tacos, tábuas e parquetes.   | Não inferior a 0,71                       |

Para a utilização das espécies na produção de papel foram avaliadas as características anatômicas das fibras como comprimento, espessura da parede, largura e diâmetro do lume. De acordo com Foelkel e Barrichelo (1975) e através das mensurações das fibras foram calculados a fração parede (Eq. 5), o índice de enfiamento (Eq. 6), o coeficiente de flexibilidade (Eq. 7) e o índice de Runkel (Eq. 8).

$$FP = \frac{(2 * EP)}{L} * 100 \quad (5)$$

$$IE = \frac{C}{L} \quad (6)$$

$$CF = \frac{DL}{L} * 100 \quad (7)$$

$$IR = \frac{(2 * EP)}{DL} \quad (8)$$

Em que:

FP: fração parede (%); EP: espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ ); L: largura das fibras ( $\mu\text{m}$ ); IE: índice de enfiamento; C: comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ); CF: coeficiente de flexibilidade; DL: diâmetro do lume das fibras ( $\mu\text{m}$ ); IR: índice de Runkel.

#### 4.7 Análises estatísticas

Na análise estatística dos resultados foi aplicado o programa JMP (SAS INSTITUTE, 1997), sendo aferidos os “outliers”. Foram realizadas análises estatísticas descritivas por meio da elaboração de gráficos e tabelas. Foram também realizadas análises de regressões múltiplas (stepwise) e correlação de Pearson, visando selecionar as variáveis que explicam a densidade aparente do tronco.

As espécies estudadas foram agrupadas (i) com base na densidade aparente e (ii) pelo conjunto de todas as características da madeira avaliadas utilizando-se o software Past para análise multivariada.

A densidade é a propriedade mais comumente utilizada para agrupar madeiras tendo em vista sua alta correlação com as demais propriedades mecânicas e ao fato de ser referência quando se trata de caracterizar qualquer madeira.

Para o agrupamento das espécies, com base na densidade aparente da madeira das árvores, foram definidas três classes de densidade: 1, 2 e 3 (Tabela 6), considerando, para esta classificação, a amplitude dos dados de densidade aparente da madeira das espécies em estudo, estabelecendo-se os intervalos de cada classe conforme a equação 9.

$$IC = \frac{D_{\text{máx}} - D_{\text{mín}}}{n} \quad (9)$$

Onde:

IC: Intervalo de Classes

Dmáx: Densidade aparente máxima

Dmín: Densidade aparente mínima

n: Número de Classes

Tabela 6 – Classificações e intervalos de classe da densidade aparente das espécies.

| <b>Classificação</b> | <b>Intervalo de Classes (g/cm<sup>3</sup>)</b> |
|----------------------|--|
| 1                    | 0,57 a 0,71                                    |
| 2                    | 0,72 a 0,86                                    |
| 3                    | 0,87 a 0,99                                    |

Para o agrupamento pelo conjunto das características da madeira das espécies foram realizadas análises das variáveis principais utilizando matriz de covariância (ACP ou PCA em inglês) para verificar como as características anatômicas da madeira (vasos: frequência, diâmetro e porcentagem de área ocupada e fibras: comprimento, espessura da parede celular, diâmetro do lume e largura), características energéticas (carbono fixo, materiais voláteis e cinzas) e densidade aparente de diferente espécies do Cerrado se relacionam entre as espécies e entre as variáveis.

## **5 Resultados e discussão**

### *5.1 Descrição macro e microscópica das espécies estudadas*

Devido a problemas na manipulação das amostras de *Acosmium dasycarpum* e *Miconia cuspidata* não foi possível adicionar estas espécies nestas descrições.

### 5.1.1 *Aspidosperma tomentosum* Mart. (Figura 7 A e B)

Nome popular: Peroba do Campo

Família: APOCYNACEAE

Características gerais: cerne e albarno pouco distintos pela cor; cerne amarelado a bege; limite dos anéis de crescimento distintos demarcados por zonas fibrosas tangenciais mais escuras e pelo parênquima marginal; com odor característico. Parênquima axial: indistinto. Vasos: muito numerosos; visíveis apenas com lente de 10x; diâmetro pequeno; distribuição difusa; desobstruídos. Raios: não estratificados.

### 5.1.2 *Astronium fraxinifolium* Schott (Figura 7 C e D)

Nome popular: Gonçalves-Alves

Família: ANACARDIACEAE

Características gerais: cerne e albarno distintos pela cor; cerne rosado; limite dos anéis de crescimento indistintos; sem odor característico. Parênquima axial: indistinto. Vasos: poucos; visíveis apenas com lente de 10x; diâmetro pequeno; distribuição difusa; predominantemente múltiplos radiais; desobstruídos. Raios: não estratificados.

### 5.1.3 *Blepharocalyx salicifolius* (Kunth) O. Berg. (Figura 7 E e F)

Nome popular: Murta

Família: MYRTACEAE

Características gerais: cerne e albarno pouco distintos pela cor; cerne amarelado a oliváceo; anéis de crescimento distintos e formados por zonas fibrosas tangenciais mais escuras; sem odor característico. Parênquima axial: difuso e vasicêntrico. Vasos: muito poucos; visíveis apenas com lente de 10x; diâmetro pequeno a médio; distribuição difusa; predominantemente solitários; desobstruídos. Raios: não estratificados.

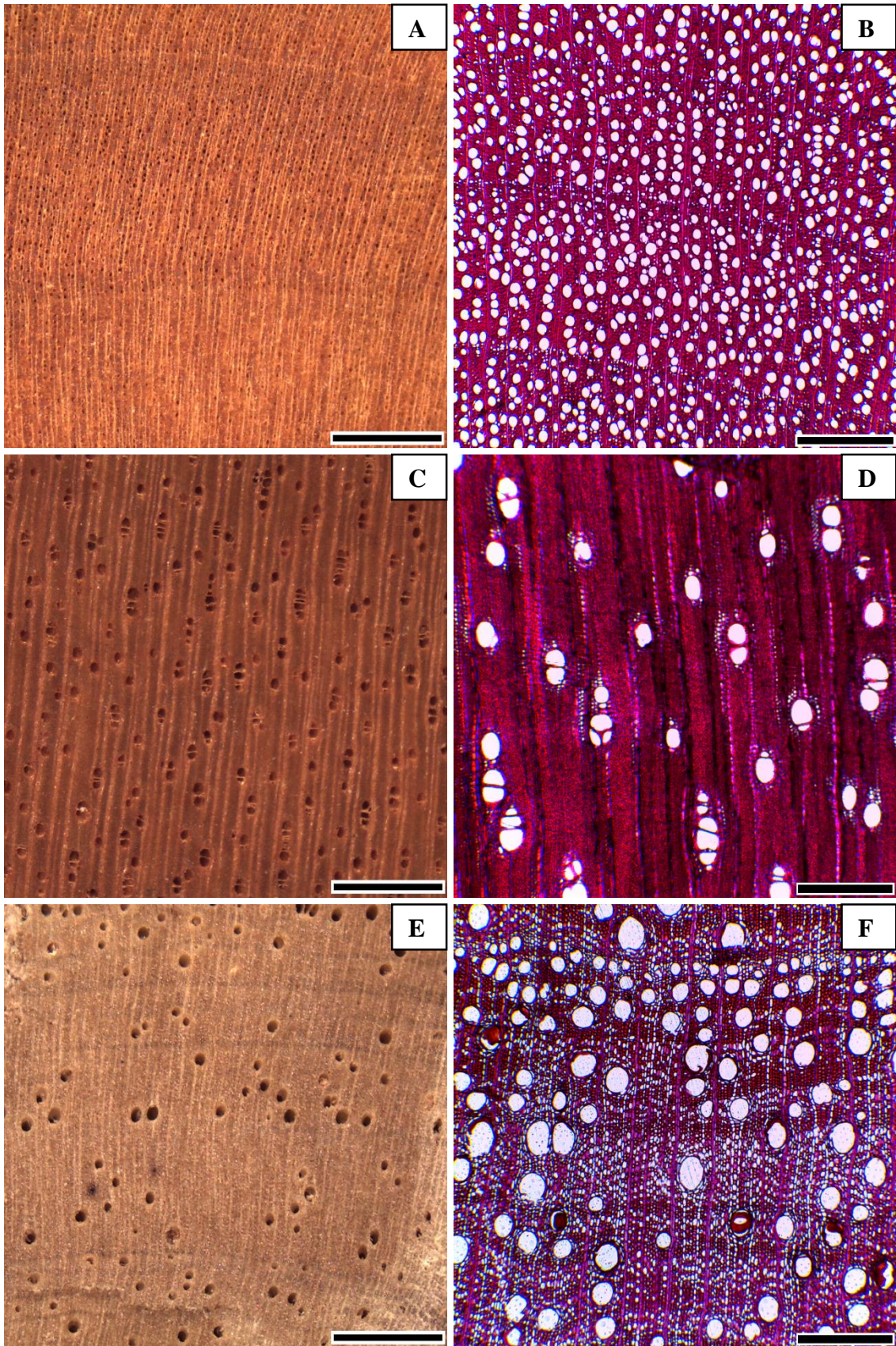


Figura 7 – Seção transversal macro (barra = 1 mm; ampliação: 10 x) e microscópica (barra = 500  $\mu$ m; ampliação: 40 x) da madeira. (A e B) *Aspidosperma tomentosum*; (C e D) *Astronium fraxinifolium* e (E e F) *Blepharocalyx salicifolius*.

#### 5.1.4 *Bowdichia virgilioides* Kunth (Figura 8 A e B)

Nome popular: Sucupira Preta

Família: FABACEAE

Características gerais: Cerne e alborno distintos pela cor; cerne castanho escuro; limite dos anéis de crescimento distintos, individualizados por zonas fibrosas mais escuras; sem odor característico; com aspecto fibroso bem acentuado. Parênquima axial: aliforme losangular eventualmente formando confluência. Vasos: poucos; visíveis a olho nu; diâmetro médio; distribuição difusa; predominantemente solitários; parte dos vasos obstruídos por substância de cor esbranquiçada. Raios: estratificados.

#### 5.1.5 *Byrsonima verbascifolia* (L.) DC. (Figura 8 C e D)

Nome popular: Murici

Família: MALPIGHIACEAE

Características gerais: Cerne e alborno indistintos pela cor; cerne amarelo-avermelhado; limite dos anéis de crescimento indistintos; sem odor característico. Parênquima axial: indistinto. Vasos: numerosos; visíveis apenas com lente de 10x; diâmetro pequeno; múltiplos dispostos em cadeias radiais, com mais de 4 vasos; desobstruídos. Raios: não estratificados.

#### 5.1.6 *Caryocar brasiliense* Cambess. (Figura 8 E e F)

Nome popular: Pequi

Família: CARYOCARACEAE

Características gerais: cerne e alborno distintos pela cor; cerne amarelado-pardo; anéis de crescimento demarcados por zonas fibrosas; sem odor característico. Parênquima axial: difuso esparso. Vasos: poucos; visíveis ao olho nu; diâmetro médio; distribuição difusa; solitários e múltiplos; obstruídos por tilos. Raios: não estratificados.

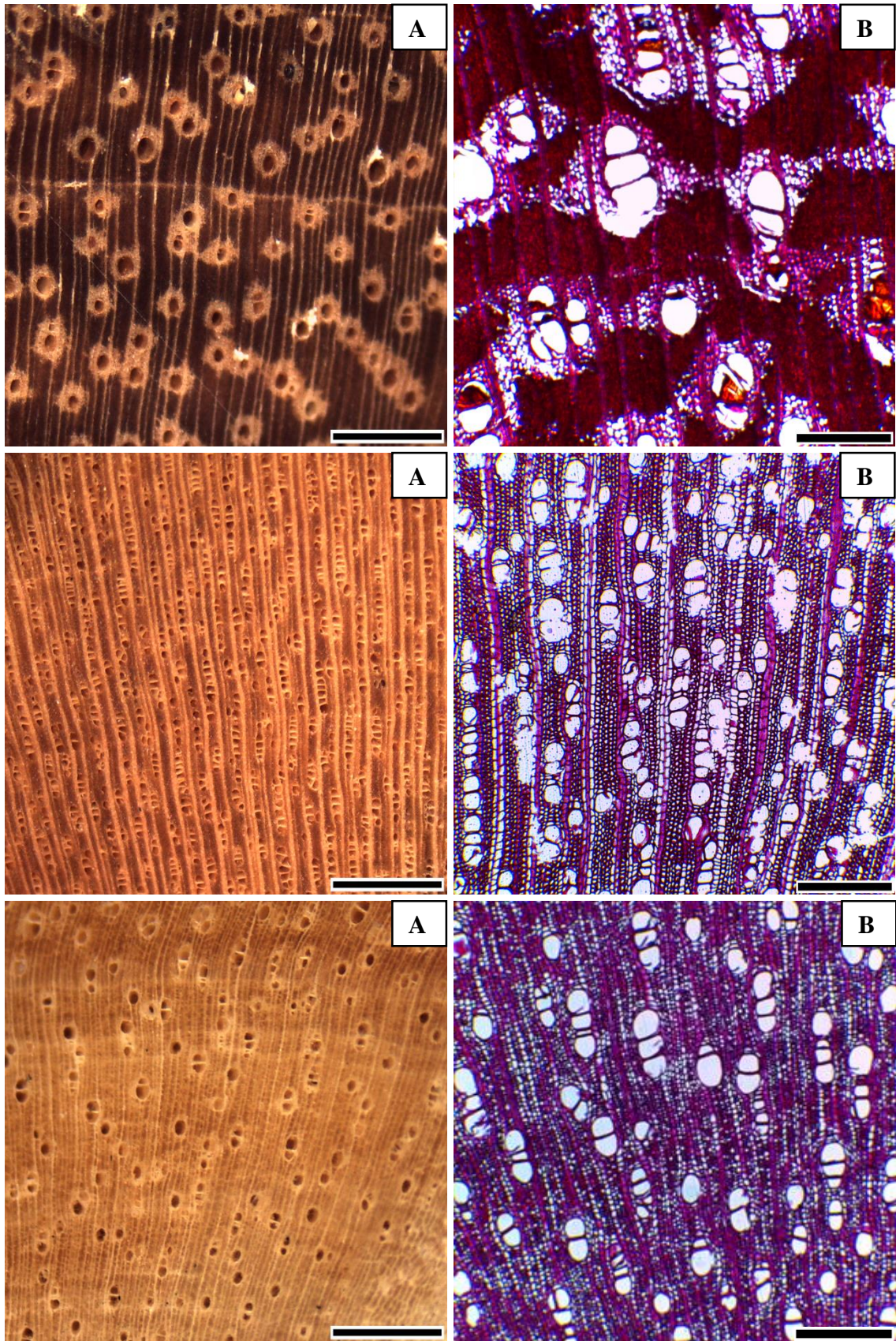


Figura 8 – Seção transversal macro (barra = 1 mm; ampliação: 10 x) e microscópica (barra = 500 μm; ampliação: 40 x) da madeira. (A e B) *Bowdichia virgilioides*; (C e D) *Byrsonima verbascifolia* e (E e F) *Caryocar brasiliense*.

### 5.1.7 *Copaifera langsdorffii* Desf. (Figura 9 A e B)

Nome popular: Copaíba

Família: FABACEAE

Características gerais: cerne e alburno distintos pela cor; cerne castanho avermelhado; limite dos anéis de crescimento distintos por parênquima do tipo marginal; sem odor característico. Parênquima axial: marginal e vasicêntrico escasso. Vasos: poucos; visíveis ao olho nu; diâmetro médio; distribuição difusa; canais axiais presentes e obstruídos por substância de cor amarelada. Raios: não estratificados.

### 5.1.8 *Eriotheca pubescens* (Mart. & Zucc.) Schott & Endl. (Figura 9 C e D)

Nome popular: Paineira do Cerrado

Família: MALVACEAE

Características gerais: cerne e alburno pouco distintos pela cor; cerne esbranquiçado a rosado; anéis de crescimento distintos formados por zonas fibrosas tangenciais mais escuras; sem odor característico. Parênquima axial: difuso em agregados. Vasos: muito poucos; visíveis a olho nu; diâmetro grande; distribuição difusa; solitários e múltiplos; desobstruídos. Raios: não estratificados.

### 5.1.9 *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne (Figura 9 E e F)

Nome popular: Jatobá do Cerrado

Família: FABACEAE

Características gerais: cerne e alburno distintos pela cor; cerne avermelhado ou amarronzado; limites dos anéis de crescimento distintos, individualizados por parênquima marginal; sem odor característico. Parênquima axial: faixas marginais intercaladas por zona de parênquima aliforme ou vasicêntrico. Vasos: poucos; visíveis a olho nu; diâmetro médio; distribuição difusa; predominantemente solitários; parcialmente obstruídos por tilose e substância esbranquiçada. Raios: não estratificados.

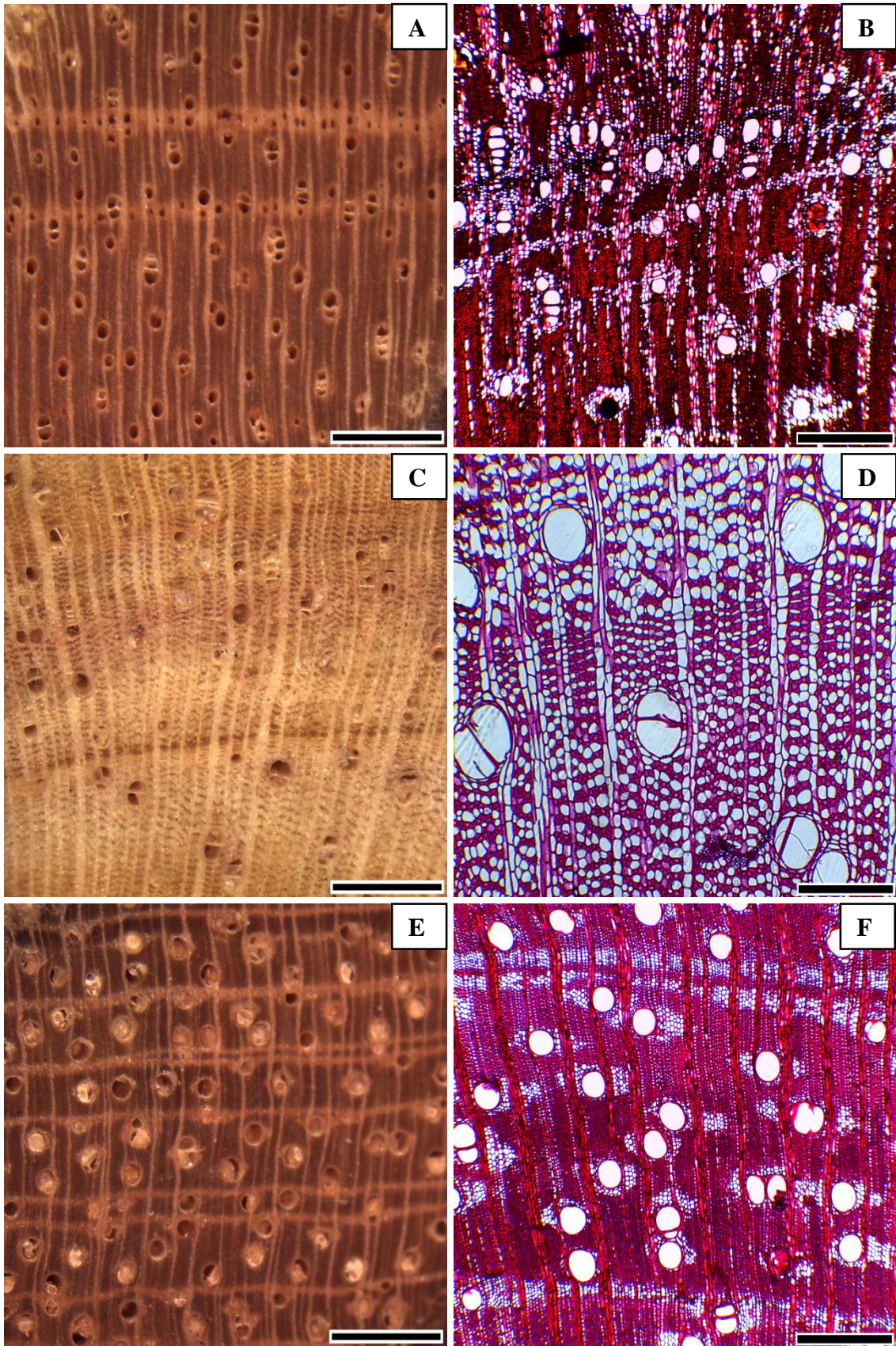


Figura 9 – Seção transversal macro (barra = 1 mm; ampliação: 10 x) e microscópica (barra = 500  $\mu$ m; ampliação: 40 x) da madeira. (A e B) *Copaifera langsdorffii*; (C e D) *Eriotheca pubescens* e (E e F) *Hymenaea stigonocarpa*.

5.1.10 *Kielmeyera coriacea* Mart. & Zucc. (Figura 10 A e B)

Nome popular: Pau Santo

Família: CLUSIACEAE

Características gerais: cerne e alburno pouco distintos pela cor; cerne rosado a avermelhado; anéis de crescimento pouco perceptíveis; sem odor característico.

Parênquima axial: linhas ou faixas. Vasos: poucos; visíveis apenas com lente 10x; diâmetro pequeno a médio; distribuição difusa; predominantemente solitários; desobstruídos. Raios: não estratificados.

5.1.11 *Plathymenia reticulata* Benth. (Figura 10 C e D)

Nome popular: Vinhático

Família: FABACEAE

Características gerais: cerne e alburno distintos pela cor; cerne amarelo dourado, tendendo ao castanho; anéis de crescimento distintos por zonas fibrosas mais escuras; sem odor característico. Parênquima axial: vasicêntrico. Vasos: poucos; visíveis a olho nu; diâmetro médio; distribuição difusa; predominantemente solitários; parcialmente obstruídos por tilos. Raios: não estratificados.

5.1.12 *Pouteria ramiflora* (Mart.) Radlk. (Figura 10 E e F)

Nome popular: Curriola

Família: SAPOTACEAE

Características gerais: cerne e alburno distintos pela cor; cerne castanho avermelhado; sem odor característico. Parênquima axial: em faixas ou linhas. Vasos: poucos; visíveis apenas com lente de 10x; diâmetro pequeno; distribuição difusa; predominantemente múltiplos; totalmente obstruídos por tilos. Raios: não estratificados.

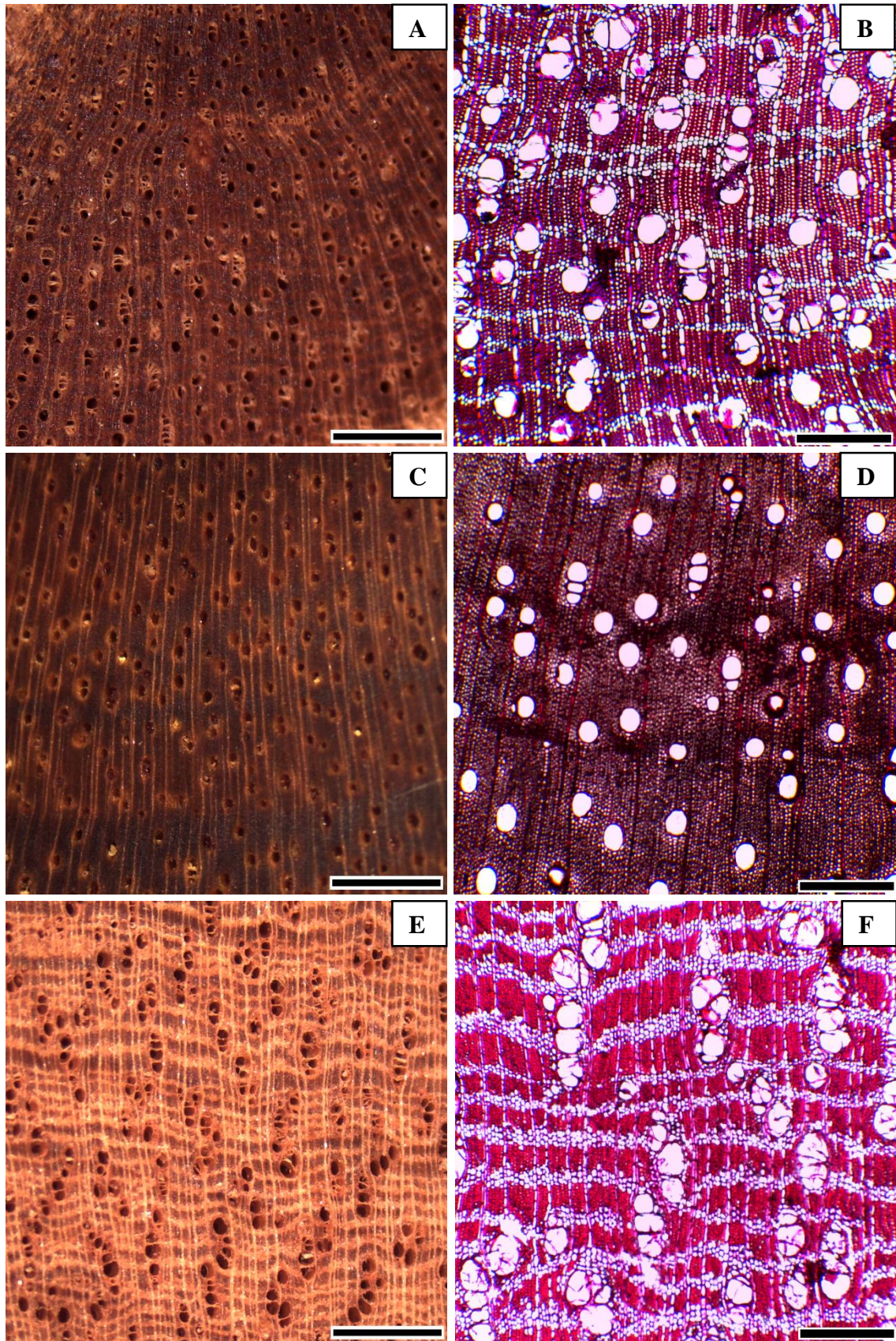


Figura 10 – Seção transversal macro (barra = 1 mm; ampliação: 10 x) e microscópica (barra = 500  $\mu$ m; ampliação: 40 x) da madeira. (A e B) *Kielmeyera coriacea*; (C e D) *Plathymania reticulata* e (E e F) *Pouteria ramiflora*.

5.1.13 *Qualea grandiflora* Mart. (Figura 11 A e B)

Nome popular: Pau Terrão

Família: VOCHYSIACEAE

Características gerais: cerne e alburno distintos pela cor; cerne castanho escuro; anéis de crescimento indistintos; sem odor característico. Parênquima axial: indistinto ou vasicêntrico. Vasos: poucos; visíveis apenas com lente de 10x; diâmetro pequeno; distribuição difusa; predominantemente múltiplos; obstruídos por tilos. Raios: não estratificados.

5.1.14 *Qualea parviflora* Mart. (Figura 11 C e D)

Nome popular: Pau Terra Roxo

Família: VOCHYSIACEAE

Características gerais: cerne e alburno distintos pela cor; cerne amarronzado; limite dos anéis de crescimento pouco distintos; sem odor característico; com aspecto fibroso. Parênquima axial: aliforme losangular ou confluyente em trechos longos, tendendo a formar faixas. Vasos: poucos; visíveis a olho nu; diâmetro médio; distribuição difusa; predominantemente solitários; desobstruídos. Raios: não estratificados.

5.1.15 *Simarouba versicolor* A.St.-Hil. (Figura 11 E e F)

Nome popular: Mata Cachorro

Família: SIMAROUBACEAE

Características gerais: cerne e alburno indistintos pela cor; cerne amarelado a esbranquiçado; limite dos anéis de crescimento pouco distintos; sem odor característico. Parênquima axial: aliforme linear formando confluências em trechos longos. Vasos: poucos; visíveis a olho nu; diâmetro médio; distribuição difusa; desobstruídos. Raios: estratificados.

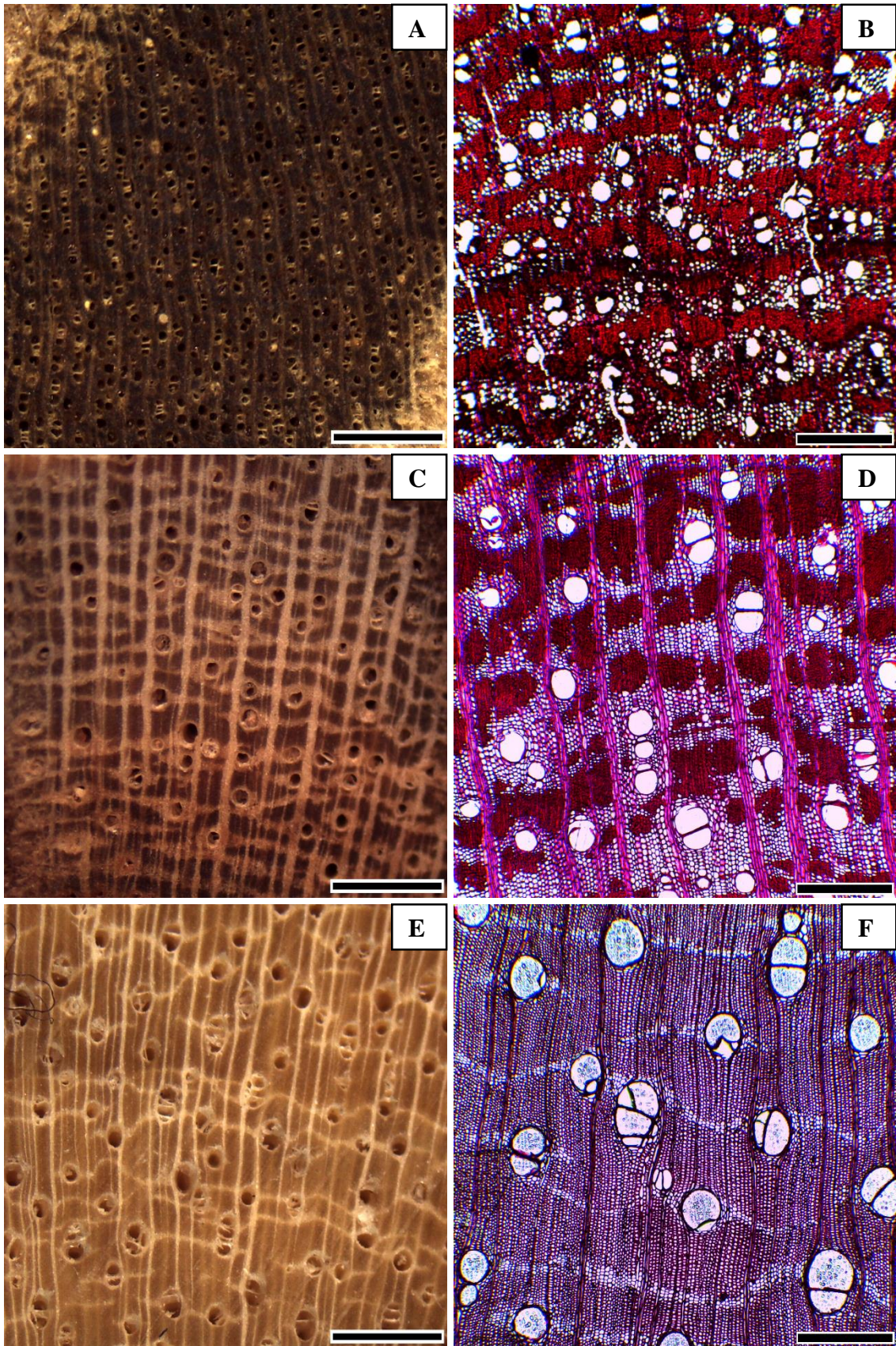


Figura 11 – Seção transversal macro (barra = 1 mm; ampliação: 10 x) e microscópica (barra = 500 μm; ampliação: 40 x) da madeira. (A e B) *Qualea grandiflora*; (C e D) *Qualea parviflora* e (E e F) *Simarouba versicolor*.

5.1.16 *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore (Figura 12 A e B)

Nome popular: Ipê Amarelo

Família: BIGNONIACEAE

Características gerais: cerne e albuno pouco distintos pela cor; cerne castanho claro; sem odor característico e sem aspecto fibroso. Parênquima axial: aliforme losangular formando confluências em trechos curtos e longos. Vasos: poucos; visíveis apenas com lente de 10x; diâmetro médio; distribuição difusa; solitários e múltiplos; desobstruídos. Raios: estratificados.

5.1.17 *Tachigali subvelutina* (Benth.) (Figura 12 C e D)

Nome popular: Carvoeiro

Família: FABACEAE

Características gerais: cerne e albuno pouco distintos pela cor; cerne castanho amarelado; limite dos anéis de crescimento indistintos; sem odor característico. Parênquima axial: indistinto. Vasos: poucos; visíveis a olho nu; diâmetro médio a grande; distribuição difusa; solitários e múltiplos; desobstruídos. Raios: não estratificados.

5.1.18 *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima (Figura 12 E e F)

Nome popular: Angá da Mata

Família: FABACEAE

Características gerais: cerne e albuno distintos pela cor; cerne enegrecido; anéis de crescimento indistintos; sem odor característico. Parênquima axial: indistinto e vasicêntrico. Vasos: poucos; visíveis apenas com lente de 10x; diâmetro pequeno a médio; disposição difusa; solitários e múltiplos; parcialmente obstruídos por tilos. Raios: não estratificados.

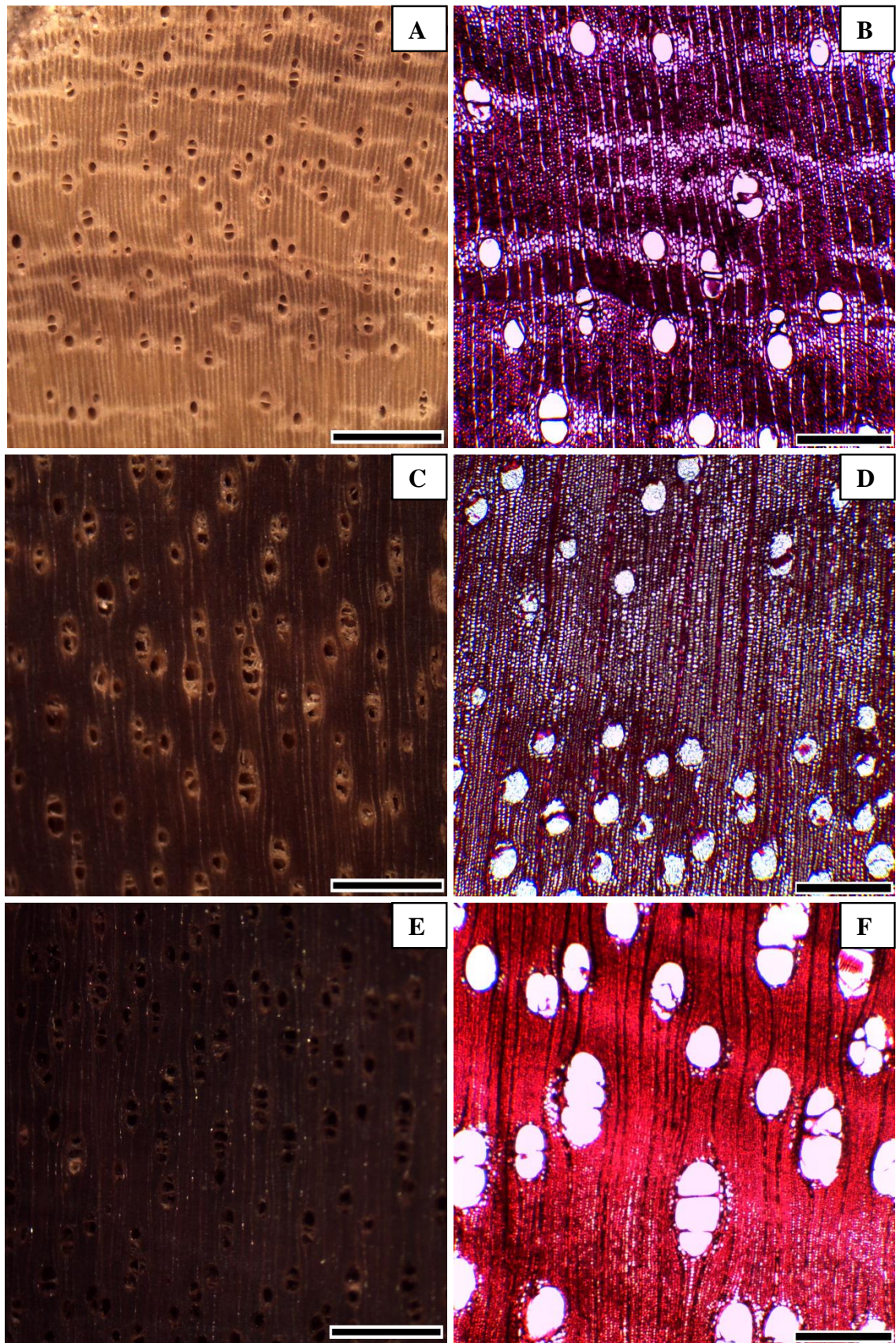


Figura 12 – Seção transversal macro (barra = 1 mm; ampliação: 10 x) e microscópica (barra = 500  $\mu$ m; ampliação: 40 x) da madeira. (A e B) *Tabebuia aurea*; (C e D) *Tachigali subvelutina* e (E e F) *Tachigali vulgaris*.

5.1.19 *Tapirira guianensis* Aubl. (Figura 13 A e B)

Nome popular: Pau Pombo

Família: ANACARDIACEAE

Características gerais: cerne e alborno distintos pela cor; cerne castanho avermelhado; anéis de crescimento indistintos; sem odor característico. Parênquima axial: indistinto. Vasos: poucos; visíveis apenas com lente de 10x; diâmetro pequeno a médio; distribuição difusa; solitários e múltiplos; parte dos vasos obstruídos por tilos. Raios: não estratificados.

5.1.20 *Vochysia thyrsoidea* Pohl (Figura 13 C e D)

Nome popular: Gomeira

Família: VOCHYSIACEAE

Características gerais: cerne e alborno pouco distintos pela cor; cerne rosado a bege rosado; anéis de crescimento indistintos; sem odor característico. Parênquima axial: confluyente em trechos longos tendendo a formar faixas. Vasos: poucos; visíveis a olho nu; diâmetro médio; distribuição difusa; proporções semelhantes de vasos solitários e múltiplos; desobstruídos. Raios: não estratificados.

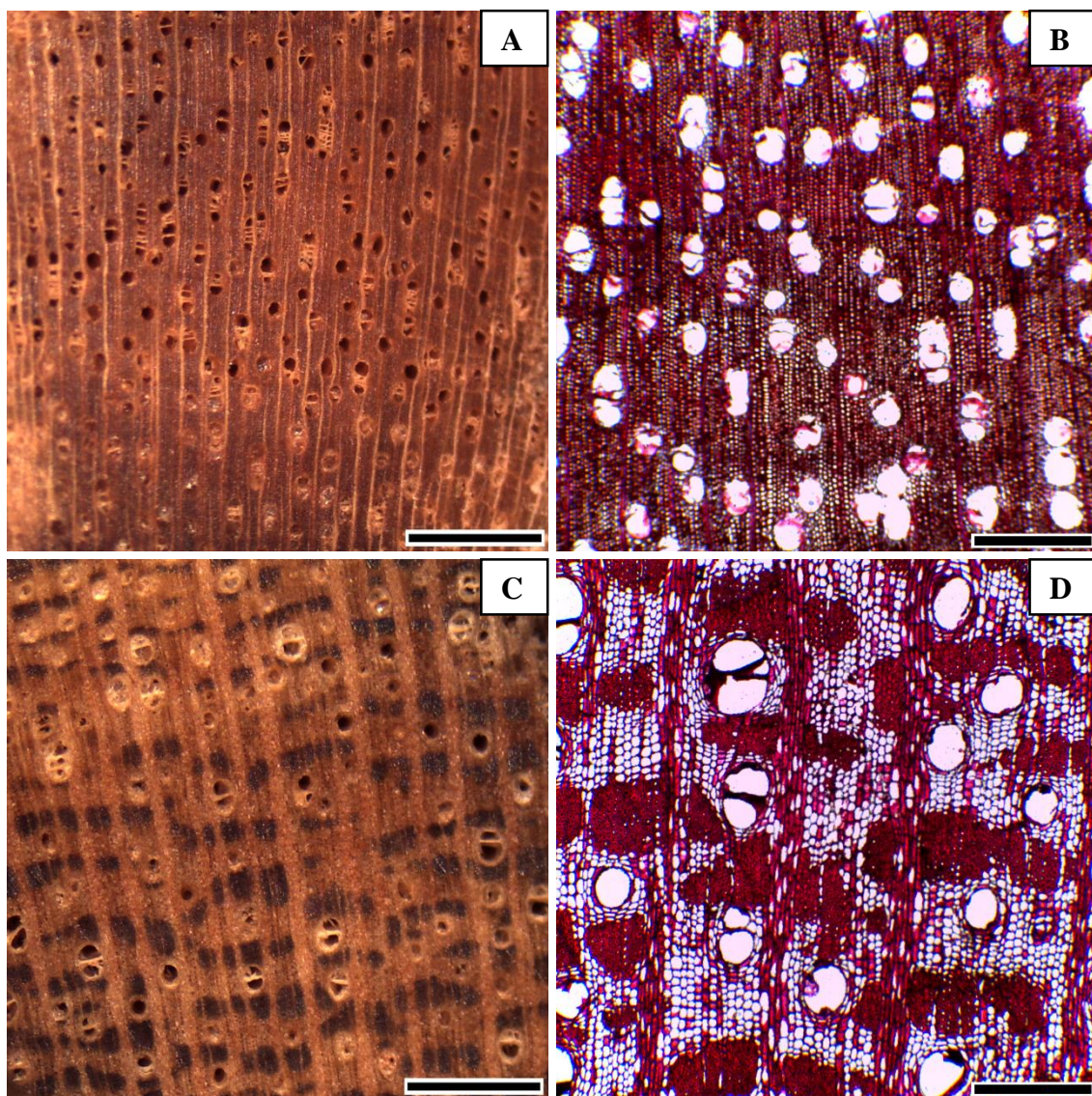


Figura 13 – Seção transversal macro (barra = 1 mm; ampliação: 10 x) e microscópica (barra = 500  $\mu\text{m}$ ; ampliação: 40 x) da madeira. (A e B) *Tapirira guianensis* e (C e D) *Vochysia thyrsoidea*.

### 5.2 Densidade aparente por densitometria de raios X

Os valores da densidade aparente mínima, média e máxima de todas as espécies são apresentados na Tabela 7. De acordo com os resultados encontrados a densidade aparente mínima variou de 0,36-0,76  $\text{g}/\text{cm}^3$ , enquanto que a máxima variou de 0,75-1,21  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

Tabela 7 – Valores da densidade aparente mínima, média e máxima das espécies estudadas.

| ESPÉCIE                           | DENSIDADE APARENTE (g/cm <sup>3</sup> ) |             |             |
|-----------------------------------|---|-------------|-------------|
|                                   | Média                                   | Mínima      | Máxima      |
| <i>Acosmium dasycarpum</i>        | 0,75 (0,01)                             | 0,59 (0,01) | 0,94 (0,02) |
| <i>Aspidosperma tomentosum</i>    | 0,71 (0,01)                             | 0,56 (0,02) | 0,87 (0,03) |
| <i>Astronium fraxinifolium</i>    | 0,99 (0,07)                             | 0,72 (0,08) | 1,21 (0,05) |
| <i>Blepharocalyx salicifolius</i> | 0,79 (0,07)                             | 0,61 (0,04) | 1,06 (0,04) |
| <i>Bowdichia virgilioides</i>     | 0,78 (0,10)                             | 0,37 (0,13) | 1,13 (0,00) |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i>    | 0,73 (0,04)                             | 0,57 (0,07) | 0,90 (0,05) |
| <i>Caryocar brasiliense</i>       | 0,84 (0,09)                             | 0,67 (0,10) | 1,06 (0,08) |
| <i>Copaifera langsdorffii</i>     | 0,84 (0,00)                             | 0,61 (0,04) | 0,98 (0,05) |
| <i>Eriotheca pubescens</i>        | 0,71 (0,14)                             | 0,49 (0,18) | 0,97 (0,06) |
| <i>Hymenaea stigonocarpa</i>      | 0,90 (0,02)                             | 0,69 (0,05) | 1,09 (0,05) |
| <i>Kielmeyera coriacea</i>        | 0,73 (0,03)                             | 0,49 (0,02) | 0,89 (0,03) |
| <i>Miconia cuspidata</i>          | 0,99 (0,01)                             | 0,76 (0,05) | 1,17 (0,02) |
| <i>Plathymenia reticulata</i>     | 0,76 (0,03)                             | 0,53 (0,05) | 0,99 (0,00) |
| <i>Pouteria ramiflora</i>         | 0,75 (0,01)                             | 0,55 (0,01) | 0,96 (0,06) |
| <i>Qualea grandiflora</i>         | 0,86 (0,03)                             | 0,62 (0,15) | 1,07 (0,02) |
| <i>Qualea parviflora</i>          | 0,87 (0,05)                             | 0,56 (0,08) | 1,12 (0,02) |
| <i>Simarouba versicolor</i>       | 0,57 (0,02)                             | 0,44 (0,07) | 0,75 (0,04) |
| <i>Tabebuia aurea</i>             | 0,69 (0,03)                             | 0,48 (0,02) | 0,94 (0,02) |
| <i>Tachigali subvelutina</i>      | 0,77 (0,10)                             | 0,45 (0,04) | 1,09 (0,13) |
| <i>Tachigali vulgaris</i>         | 0,76 (0,07)                             | 0,43 (0,11) | 1,07 (0,04) |
| <i>Tapirira guianensis</i>        | 0,64 (0,09)                             | 0,45 (0,11) | 0,85 (0,10) |
| <i>Vochysia thyrsoidea</i>        | 0,63 (0,05)                             | 0,36 (0,08) | 1,14 (0,09) |
| MÉDIA                             | 0,78 (0,11)                             | 0,54 (0,11) | 1,01 (0,12) |

Média seguida de desvio padrão.

Em estudo sobre quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do Cerrado, Vale et al. (2002) encontraram os seguintes valores de densidade básica: *A. dasycarpum* (0,74 g/cm<sup>3</sup>); *A. tomentosum* (0,58 g/cm<sup>3</sup>); *B. verbascifolia* (0,48 g/cm<sup>3</sup>); *B. salicifolius* (0,46 g/cm<sup>3</sup>); *C. brasiliense* (0,61 g/cm<sup>3</sup>); *E. pubescens* (0,38 g/cm<sup>3</sup>); *H. stigonocarpa* (0,78 g/cm<sup>3</sup>); *K. coriacea* (0,46 g/cm<sup>3</sup>); *P. ramiflora* (0,70 g/cm<sup>3</sup>); *Q. grandiflora* (0,69 g/cm<sup>3</sup>); *Q. parviflora* (0,69 g/cm<sup>3</sup>) e *V. thyrsoides* (0,49 g/cm<sup>3</sup>).

Os valores descritos por estes autores estão abaixo dos valores encontrados no presente estudo. As diferenças nos resultados podem estar associadas as quantidades de madeira juvenil e adulta e a idade das árvores, sendo que a madeira juvenil formada na madeira de árvores jovens apresenta, geralmente, menor densidade que a das árvores adultas (SETTE JR et al., 2009).

As diferenças nos resultados também podem ser explicadas pelos métodos utilizados em ambos os trabalhos: a alta precisão do método de densitometria de raios X, leituras de densidade aparente a intervalos de 40 µm, faz com que sejam detectadas todas as variações existentes na amostra radial. Além disso, no trabalho citado foi avaliada a densidade básica, enquanto que no presente estudo foi analisada a densidade aparente. A diferença nos teores de umidade para a determinação da densidade também pode ser responsável pelas diferenças nos resultados.

Segundo Oliveira (1997), a técnica de densitometria de raios X se diferencia do método gravimétrico convencional porque possibilita a avaliação da densidade da madeira a pequenos intervalos através de gráficos do padrão de variação radial. O mesmo autor afirma que esta técnica fornece avaliações do desenvolvimento de indivíduos de uma determinada espécie, além de auxiliar na seleção de espécies que apresentam maiores densidades ou densidades mais uniformes.

O modelo mais comum relatado na literatura (LIMA et al., 2011; LOBÃO et al., 2012) indica um aumento da densidade da madeira com a idade das árvores, resultado das modificações das células cambiais, formando a madeira adulta. No entanto, para as espécies estudadas não foi determinada a idade das árvores.

Os perfis radiais da densidade aparente da madeira das espécies são apresentados nas Figuras 14 e 15. De acordo com os perfis radiais foram definidos dois padrões de variação da densidade aparente da medula para a casca.

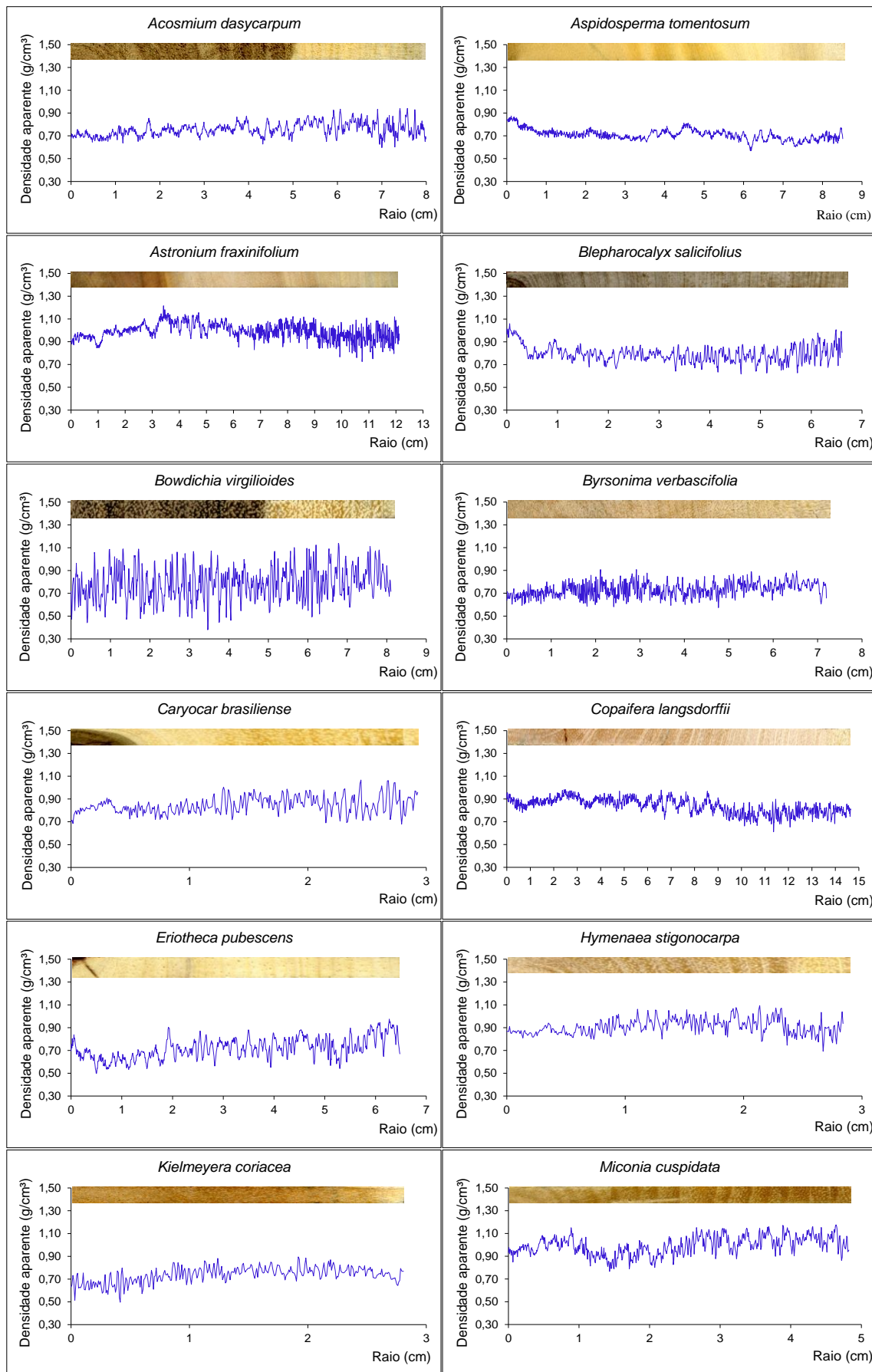


Figura 14 – Perfis radiais da densidade aparente da madeira.

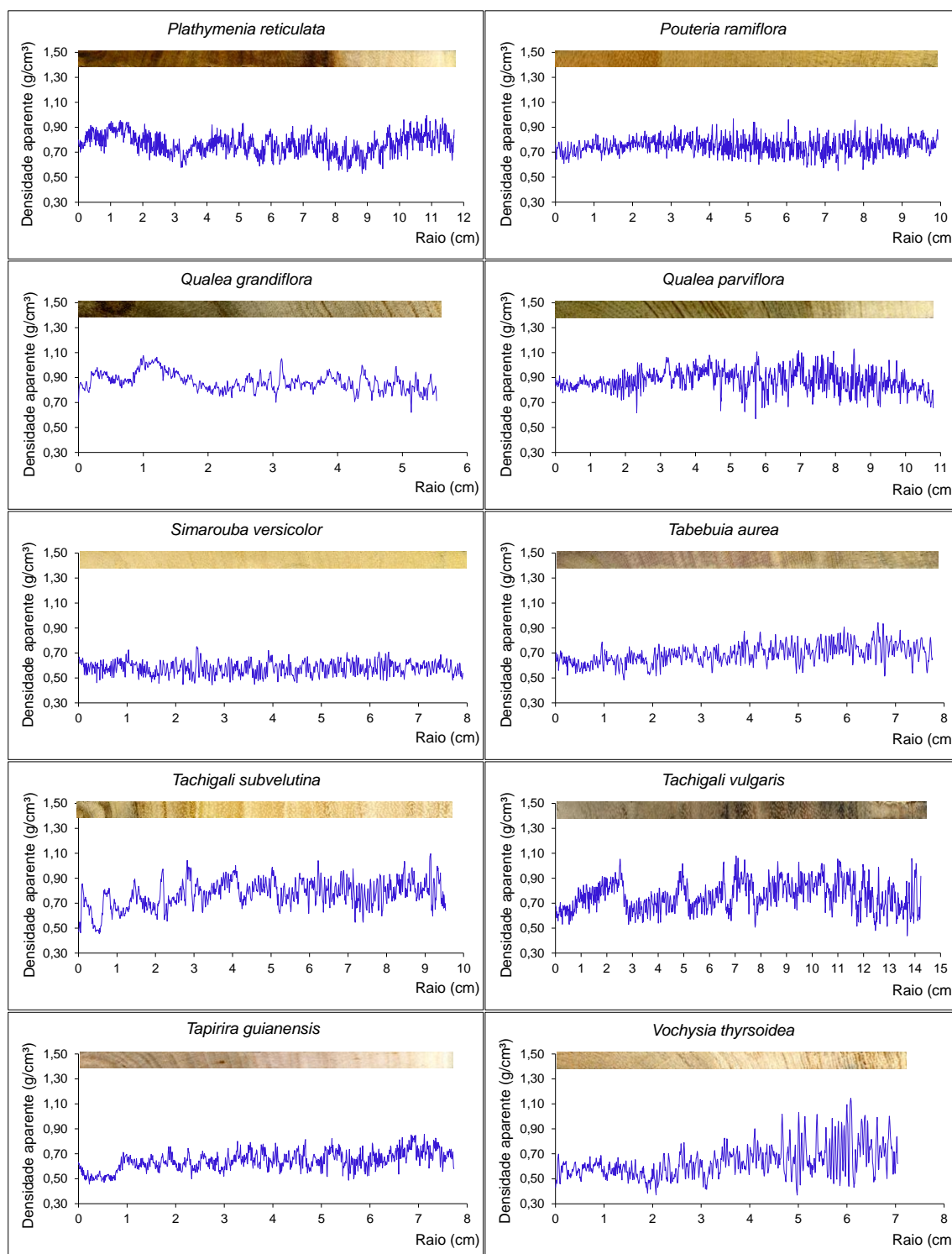


Figura 15 – Perfis radiais da densidade aparente da madeira.

As espécies *A. dasycarpum*, *B. virgilioides*, *B. verbascifolia*, *C. brasiliense*, *E. pubescens*, *H. stigonocarpa*, *K. coriacea*, *M. cuspidata*, *P. reticulata*, *T. aurea*, *T. subvelutina*, *T. vulgaris*, *T. guianensis* e *V. thyrsoidea* apresentaram um modelo de variação crescente da densidade aparente da medula para a casca, com valores de 0,46 a

0,91g/cm<sup>3</sup> na região próxima a medula e de 0,72 a 1,07 g/cm<sup>3</sup> na região próxima a casca, com menores valores de densidade da madeira na região interna do tronco (madeira juvenil), seguida de região de transição e, na sequência, aumento gradativo da densidade em direção a casca (madeira adulta).

Esses perfis de densidade da madeira apresentam similaridade com os apresentados por Lima et al. (2011), Longui et al. (2011) e Lobão et al. (2012). Para Vital (1984), a densidade tende a aumentar em relação a idade da árvore em função do aumento da espessura da parede celular e conseqüentemente pela diminuição do lume das fibras à medida que é formada a madeira adulta no tronco das árvores.

As espécies *A. fraxinifolium*, *P. ramiflora*, *S. versicolor*, *A. tomentosum*, *B. salicifolius*, *C. langsdorffii*, *Q. grandiflora* e *Q. parviflora* apresentaram valores estáveis em todo perfil densitométrico, às vezes apresentando maiores valores na região da medula. Os maiores valores de densidade próximos a medula podem estar relacionados com a presença de cristais e de amido nas células de parênquima, conforme verificado por Tomazello Filho (2006) e Tomazello Filho et al. (2008) no lenho das árvores de eucalipto, além de flutuações de densidade aparente nos perfis devidas às variações de diâmetro/frequência de vasos e de faixas de fibras de parede mais espessas.

Metodologia similar a aplicada no presente trabalho foi utilizada, anteriormente, por inúmeros autores para analisar a madeira de árvores de diferentes espécies. A técnica de densitometria de raios X foi aplicada por vários autores, entre eles, Nicholls e Griffin (1978), Nicholls e Matheson (1980), Jorge (1994), Lausberg et al. (1995), Wimmer et al. (2002), Silva et al. (2004), Alzate et al. (2005), Sette Jr et al. (2009), Lobão (2011), Lobão et al. (2012), dentre outros.

### 5.3 Características anatômicas da madeira: dimensões das fibras

Os valores médios das dimensões das fibras são apresentados na Tabela 8. Para a caracterização anatômica, tanto de fibras como de vasos, foram analisadas 21 espécies. Devido a problemas na manipulação da amostra de *Miconia cuspidata* não foi possível adicionar esta espécie nestas análises.

Tabela 8 – Valores médios do comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras ( $\mu\text{m}$ ) da madeira das espécies do Cerrado.

| <b>ESPÉCIE</b>                    | <b>Comprimento<br/>(<math>\mu\text{m}</math>)</b> | <b>Largura<br/>(<math>\mu\text{m}</math>)</b> | <b>Espessura da<br/>parede (<math>\mu\text{m}</math>)</b> | <b>Diâmetro do<br/>lume (<math>\mu\text{m}</math>)</b> |
|-----------------------------------|---|---|---|--|
| <i>Acosmium dasycarpum</i>        | 1167,5 (152,3)                                    | 18,1 (3,3)                                    | 6,1 (1,7)   | 5,9 (3,2)  |
| <i>Aspidosperma tomentosum</i>    | 1083,2 (146,1)                                    | 18,5 (2,4)                                    | 5,9 (1,0)   | 6,6 (2,4)  |
| <i>Astronium fraxinifolium</i>    | 1022,4 (215,9)                                    | 25,5 (2,4)                                    | 9,4 (1,9)   | 6,7 (3,1)  |
| <i>Blepharocalyx salicifolius</i> | 1130,2 (212,9)                                    | 20,5 (3,5)                                    | 6,8 (1,9)   | 6,8 (2,6)  |
| <i>Bowdichia virgilioides</i>     | 1266,0 (218,3)                                    | 17,5 (3,3)                                    | 6,8 (1,8)   | 4,0 (2,7)  |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i>    | 1379,5 (220,4)                                    | 27,7 (3,9)                                    | 7,4 (1,3)   | 12,8 (3,7)   |
| <i>Caryocar brasiliense</i>       | 1988,0 (354,7)                                    | 21,5 (4,6)                                    | 7,9 (2,2)   | 5,7 (4,5)  |
| <i>Copaifera langsdorffii</i>     | 1098,7 (247,5)                                    | 25,6 (3,0)                                    | 8,7 (2,1)   | 8,2 (2,4)  |
| <i>Eriotheca pubescens</i>        | 2052,9 (334,8)                                    | 26,5 (5,0)                                    | 9,2 (2,3)   | 8,1 (4,2)  |
| <i>Hymenaea stigonocarpa</i>      | 1063,1 (160,5)                                    | 25,2 (2,6)                                    | 9,2 (1,6)   | 6,8 (2,5)  |
| <i>Kielmeyera coriacea</i>        | 1620,6 (138,6)                                    | 21,5 (5,1)                                    | 5,8 (2,5)   | 3,5 (1,1)  |
| <i>Plathymenia reticulata</i>     | 963,9 (165,9)                                     | 21,5 (4,1)                                    | 5,6 (1,6)   | 10,3 (3,9)   |
| <i>Pouteria ramiflora</i>         | 1008,1 (155,5)                                    | 18,7 (2,9)                                    | 6,3 (1,1)   | 6,1 (2,0)  |
| <i>Qualea grandiflora</i>         | 1140,2 (137,5)                                    | 20,0 (5,5)                                    | 8,0 (2,7)   | 4,0 (1,6)  |
| <i>Qualea parviflora</i>          | 1072,6 (199,0)                                    | 18,5 (3,3)                                    | 7,3 (1,2)   | 3,9 (1,9)  |
| <i>Simarouba versicolor</i>       | 1013,2 (141,5)                                    | 20,8 (3,1)                                    | 4,4 (0,8)   | 12,0 (2,6)   |
| <i>Tabebuia aurea</i>             | 1018,4 (297,7)                                    | 18,4 (3,7)                                    | 5,7 (1,3)   | 7,1 (3,5)  |
| <i>Tachigali subvelutina</i>      | 900,5 (145,0)                                     | 20,9 (3,1)                                    | 4,4 (0,7)   | 12,1 (2,9)   |
| <i>Tachigali vulgaris</i>         | 901,1 (170,5)                                     | 18,4 (5,4)                                    | 5,7 (2,7)   | 7,0 (3,7)  |
| <i>Tapirira guianensis</i>        | 1066,0 (207,3)                                    | 25,0 (4,2)                                    | 4,4 (1,3)   | 16,3 (4,8)   |
| <i>Vochysia thyrsoidea</i>        | 1203,5 (295,9)                                    | 21,8 (4,9)                                    | 6,7 (3,0)   | 8,2 (3,8)  |
| <b>MÉDIA</b>                      | 1198,1 (317,7)                                    | 21,5 (3,2)                                    | 6,7 (1,6)   | 7,7 (3,3)  |

Média seguida de desvio padrão.

De acordos com os resultados, as fibras das espécies estudadas apresentaram uma variação de 900,5-2052,9  $\mu\text{m}$  para o comprimento; 18,1-27,7  $\mu\text{m}$  para a largura; 4,4-9,4  $\mu\text{m}$  para espessura da parede e 3,5-16,3  $\mu\text{m}$  para o diâmetro do lume das fibras.

Segundo Zobel (1992), a largura das células tem relação ao crescimento sazonal, o diâmetro do lume é influenciado pela largura e espessura da parede das fibras e o comprimento das células pode estar associado a fatores genéticos e modificado por alterações no crescimento.

Em seus estudos sobre anatomia ecológica da madeira de *Blepharocalyx salicifolius* em Campos de Cima da Serra (RS), Denardi e Marchiori (2005) encontraram os seguintes valores das dimensões das fibras: 1026  $\mu\text{m}$  para o comprimento; 16,5  $\mu\text{m}$  para a largura; 9,7  $\mu\text{m}$  para o diâmetro do lume e 3,4 para a espessura da parede. As notáveis diferenças encontradas no presente estudo podem ser justificadas pelos métodos de amostragem e pelos ambientes de coleta das amostras da espécie, uma vez que o mesmo autor ressalta que a anatomia da madeira pode sofrer alterações em decorrência do ambiente no qual a planta vive.

O valor médio de comprimento de fibras de *Caryocar brasiliense* registrado por Voigt et al. (2010) foi de 2085,05  $\mu\text{m}$  em ambiente de Cerradão. Apesar da diferença do valor encontrado no presente trabalho (1988  $\mu\text{m}$ ), destaca-se a semelhança ao alto valor para o comprimento quando comparado às demais espécies aqui estudadas.

De acordo com os resultados de Melo Júnior et al. (2011) no estudo sobre anatomia ecológica do lenho de *Copaifera langsdorffii* no cerrado sul-brasileiro, as dimensões das fibras encontradas foram de 1095  $\mu\text{m}$  para o comprimento, 22  $\mu\text{m}$  para a largura e 9  $\mu\text{m}$  para a espessura da parede, valores semelhantes aos encontrados no presente estudo.

A variação radial dos parâmetros anatômicos das fibras na madeira das espécies do Cerrado são apresentadas na Tabela 9. Podemos observar que as espécies possuem um modelo de variação radial comum para o comprimento das fibras indicando uma tendência de aumento no sentido medula-casca, o mesmo encontrado por Lima et al. (2011), Longui et al. (2011), Lobão et al. (2012) e Nisgoski et al. (2012) em espécies nativas.

De acordo com Tomazello Filho (1987) o aumento do comprimento das fibras tem relação com a idade das árvores devido ao aumento das células iniciais fusiformes do câmbio até atingirem a estabilização dando início à formação da madeira adulta. Desta maneira, segundo Jankowsky (1979) e Tomazello Filho et al. (1999) a madeira juvenil é aquela que está ao redor da medula, com anéis de crescimento mais largos formados durante o período inicial da planta.

Tabela 9 – Valores do comprimento, espessura da parede, largura e diâmetro do lume das fibras por posição radial na madeira.

| ESPÉCIE                           | PR (%) | C (µm) | L (µm) | EP (µm) | DL (µm) |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
| <i>Acosmium dasycarpum</i>        | 0      | 1137,0 | 17,8   | 4,7     | 8,4     |
|                                   | 50     | 1175,6 | 17,5   | 6,7     | 4,2     |
|                                   | 100    | 1189,9 | 19,0   | 7,0     | 5,0     |
| <i>Aspidosperma tomentosum</i>    | 0      | 1055,2 | 19,0   | 5,4     | 8,2     |
|                                   | 50     | 1086,2 | 17,7   | 6,2     | 5,2     |
|                                   | 100    | 1108,1 | 18,6   | 6,1     | 6,4     |
| <i>Astronium fraxinifolium</i>    | 0      | 984,3  | 25,1   | 8,6     | 7,9     |
|                                   | 50     | 1048,6 | 25,5   | 9,4     | 6,7     |
|                                   | 100    | 1034,3 | 25,9   | 10,2    | 5,6     |
| <i>Blepharocalyx salicifolius</i> | 0      | 1001,2 | 19,4   | 6,6     | 6,1     |
|                                   | 50     | 1193,1 | 20,7   | 6,9     | 6,8     |
|                                   | 100    | 1198,4 | 21,5   | 7,0     | 7,6     |
| <i>Bowdichia virgilioides</i>     | 0      | 1155,7 | 17,3   | 6,2     | 5,0     |
|                                   | 50     | 1279,8 | 17,4   | 6,7     | 4,0     |
|                                   | 100    | 1362,6 | 17,9   | 7,5     | 2,9     |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i>    | 0      | 1314,9 | 27,8   | 6,9     | 14,0    |
|                                   | 50     | 1371,8 | 28,2   | 7,5     | 13,1    |
|                                   | 100    | 1452,0 | 27,2   | 7,9     | 11,3    |

Continua...

...continua

|                               |     |        |      |      |      |
|-------------------------------|-----|--------|------|------|------|
|                               | 0   | 1831,6 | 20,2 | 7,5  | 5,3  |
| <i>Caryocar brasiliense</i>   | 50  | 2048,4 | 21,8 | 8,0  | 5,8  |
|                               | 100 | 2083,9 | 22,4 | 8,2  | 6,0  |
|                               | 0   | 961,2  | 25,6 | 8,1  | 9,3  |
| <i>Copaifera langsdorffii</i> | 50  | 1155,7 | 25,5 | 8,9  | 7,7  |
|                               | 100 | 1179,2 | 25,9 | 9,1  | 7,6  |
|                               | 0   | 1912,7 | 24,7 | 7,9  | 8,9  |
| <i>Eriotheca pubescens</i>    | 50  | 2098,7 | 25,4 | 9,4  | 6,7  |
|                               | 100 | 2122,7 | 29,3 | 10,3 | 8,8  |
|                               | 0   | 1044,1 | 25,3 | 8,8  | 7,8  |
| <i>Hymenaea stigonocarpa</i>  | 50  | 1042,0 | 25,9 | 9,3  | 7,3  |
|                               | 100 | 1112,1 | 24,5 | 9,6  | 5,2  |
|                               | 0   | 1547,8 | 20,8 | 8,9  | 3,0  |
| <i>Kielmeyera coriacea</i>    | 50  | 1686,2 | 21,4 | 8,5  | 4,5  |
|                               | 100 | 1627,7 | 22,2 | 9,6  | 3,1  |
|                               | 0   | 990,3  | 24,7 | 9,2  | 6,3  |
| <i>Miconia cuspidata</i>      | 50  | 1008,5 | 25,2 | 9,5  | 6,3  |
|                               | 100 | 1052,9 | 26,3 | 10,0 | 6,2  |
|                               | 0   | 942,4  | 20,4 | 4,9  | 10,6 |
| <i>Plathymenia reticulata</i> | 50  | 948,4  | 20,9 | 5,6  | 9,6  |
|                               | 100 | 1000,9 | 23,1 | 6,1  | 10,8 |
|                               | 0   | 963,2  | 18,5 | 6,1  | 6,4  |
| <i>Pouteria ramiflora</i>     | 50  | 1011,7 | 17,9 | 6,3  | 5,3  |
|                               | 100 | 1049,5 | 19,8 | 6,6  | 6,7  |

Continua...

...continua

|                              |     |        |      |     |      |
|------------------------------|-----|--------|------|-----|------|
|                              | 0   | 1053,7 | 17,8 | 6,8 | 4,2  |
| <i>Qualea grandiflora</i>    | 50  | 1151,9 | 21,8 | 8,5 | 4,8  |
|                              | 100 | 1214,9 | 20,2 | 8,6 | 3,1  |
|                              | 0   | 1027,3 | 18,0 | 7,2 | 3,7  |
| <i>Qualea parviflora</i>     | 50  | 1071,8 | 18,0 | 7,2 | 3,6  |
|                              | 100 | 1117,2 | 19,5 | 7,6 | 4,3  |
|                              | 0   | 941,2  | 20,4 | 4,4 | 11,7 |
| <i>Simarouba versicolor</i>  | 50  | 1027,8 | 19,6 | 4,2 | 11,2 |
|                              | 100 | 1070,6 | 22,5 | 4,6 | 13,3 |
|                              | 0   | 838,0  | 16,6 | 4,9 | 6,8  |
| <i>Tabebuia aurea</i>        | 50  | 812,2  | 20,8 | 5,4 | 9,9  |
|                              | 100 | 1405,1 | 17,5 | 7,3 | 2,9  |
|                              | 0   | 838,5  | 21,2 | 4,4 | 12,4 |
| <i>Tachigali subvelutina</i> | 50  | 915,3  | 21,0 | 4,2 | 12,7 |
|                              | 100 | 947,8  | 20,6 | 4,8 | 11,1 |
|                              | 0   | 850,2  | 17,2 | 5,0 | 7,1  |
| <i>Tachigali vulgaris</i>    | 50  | 876,7  | 17,7 | 5,7 | 6,3  |
|                              | 100 | 975,0  | 20,5 | 6,5 | 7,4  |
|                              | 0   | 1067,3 | 25,7 | 4,1 | 17,6 |
| <i>Tapirira guianensis</i>   | 50  | 1029,2 | 24,7 | 4,4 | 15,8 |
|                              | 100 | 1100,9 | 24,7 | 4,6 | 15,4 |
|                              | 0   | 1003,6 | 21,4 | 5,7 | 10,0 |
| <i>Vochysia thyrsoidea</i>   | 50  | 1278,0 | 20,9 | 6,9 | 7,1  |
|                              | 100 | 1328,8 | 22,9 | 7,7 | 7,4  |

PR: posição radial; C: comprimento; L: largura; EP: espessura da parede; DL: diâmetro do lume.

A madeira adulta apresenta o câmbio fisiologicamente maduro e encontra-se na porção mais externa do tronco com maiores valores de comprimento das fibras e densidade e valores mais estáveis quando comparados à madeira juvenil.

A espessura da parede das fibras (Tabela 9) demonstra um modelo comum de variação entre as espécies estudadas, indicando um aumento no sentido medula-casca, corroborando o modelo encontrado por Longui et al. (2009, 2011), Lima et al. (2011) e Lobão et al. (2012) para espécies nativas. De acordo com Vital (1984) a espessura da parede celular tem forte influência na densidade da madeira; a densidade tende a aumentar em função da idade das árvores como consequência do aumento da espessura das paredes das células.

As variáveis largura e diâmetro do lume das fibras (Tabela 8) não apresentaram modelos de variações radiais comuns entre as espécies de acordo com a posição radial. Algumas espécies aumentaram o diâmetro do lume e largura das fibras, enquanto outras apresentaram diminuição do valor no sentido medula-casca. Isso ocorre devido a especificidade de cada espécie.

Segundo Longui et al. (2009) há espécies que apresentam aumento e outras diminuição tanto nas dimensões como na frequência de células no sentido medula-casca e em alguns casos quase não apresentam variação. Roque e Tomazello Filho (2009) encontraram aumento na variação radial dessas variáveis para *Gmelina arborea* na direção medula-casca enquanto que Lobão et al. (2012) observaram redução da largura das fibras no sentido medula-casca para *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*.

Neste estudo, a espécie *Plathymenia reticulata* apresentou valores similares aos observados por Longui et al. (2012) para a região próxima a medula (10,6  $\mu\text{m}$ ) e casca (10,8  $\mu\text{m}$ ), com redução do valor entre as duas posições. Estes autores encontraram nesta mesma espécie, maiores valores do diâmetro do lume das fibras na região da casca.

#### 5.4 Características anatômicas da madeira: dimensões dos vasos

Os valores médios das dimensões dos vasos são apresentados na Tabela 10. Com base nos resultados, as espécies apresentaram uma variação nas dimensões dos vasos de 29,2-155,6  $\mu\text{m}$  para o diâmetro; 17,7-32,5 % de área ocupada e 2,6-165 vasos/ $\text{mm}^2$ . De acordo com Vital e Della Lucia (1987), geralmente, quanto maior o diâmetro do vaso, menor a frequência do mesmo. Isso é perceptível nas espécies estudadas, como por

exemplo em *Q. grandiflora* com diâmetro de 72,7  $\mu\text{m}$  e frequência de 14,1 vasos/ $\text{mm}^2$  e em *V. thyrsoidea* com diâmetro de 155,6  $\mu\text{m}$  e frequência de 5,4 vasos/ $\text{mm}^2$ .

Tabela 10 – Diâmetro ( $\mu\text{m}$ ), % de área ocupada e frequência ( $\text{n}^\circ/\text{mm}^2$ ) de vasos na madeira das espécies do estudo.

| <b>ESPÉCIE</b>                    | <b>Diâmetro<br/>(<math>\mu\text{m}</math>)</b> | <b>Área<br/>(%)</b> | <b>Frequência<br/>(<math>\text{n}^\circ/\text{mm}^2</math>)</b> |
|-----------------------------------|--|---------------------|---|
| <i>Acosmium dasycarpum</i>        | 78,9 (20,5)                                    | 25,1 (9,7)          | 16,0 (4,5)  |
| <i>Aspidosperma tomentosum</i>    | 29,2 (11,8)                                    | 32,5 (12,8)         | 165,0 (12,9)  |
| <i>Astronium fraxinifolium</i>    | 77,3 (26,1)                                    | 17,7 (5,3)          | 7,9 (1,4)   |
| <i>Blepharocalyx salicifolius</i> | 95,9 (5,0)                                     | 21,1 (11,7)         | 4,8 (1,5)   |
| <i>Bowdichia virgilioides</i>     | 76,1 (14,8)                                    | 24,4 (9,5)          | 6,6 (3,2)   |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i>    | 103,5 (12,7)                                   | 26,2 (7,5)          | 26,3 (8,6)  |
| <i>Caryocar brasiliense</i>       | 106,6 (16,2)                                   | 22,5 (8,0)          | 7,2 (1,2)   |
| <i>Copaifera langsdorffii</i>     | 96,2 (9,7)                                     | 20,2 (7,0)          | 5,5 (1,5)   |
| <i>Eriotheca pubescens</i>        | 95,8 (7,9)                                     | 21,3 (3,6)          | 2,6 (0,7)   |
| <i>Hymenaea stigonocarpa</i>      | 99,3 (5,0)                                     | 21,2 (5,5)          | 5,0 (1,8)   |
| <i>Kielmeyera coriacea</i>        | 107,7 (17,5)                                   | 28,7 (6,0)          | 14,4 (2,8)  |
| <i>Plathymenia reticulata</i>     | 90,6 (20,7)                                    | 20,4(5,6)           | 9,2 (2,2)   |
| <i>Pouteria ramiflora</i>         | 79,8 (43,1)                                    | 30,4 (10,2)         | 10,7 (4,4)  |
| <i>Qualea grandiflora</i>         | 72,7 (7,9)                                     | 26,7 (14,0)         | 14,1 (4,1)  |
| <i>Qualea parviflora</i>          | 110,0 (34,5)                                   | 18,0 (8,5)          | 6,9 (2,1)   |
| <i>Simarouba versicolor</i>       | 139,4 (21,1)                                   | 30,9 (6,6)          | 6,6 (3,6)   |
| <i>Tabebuia aurea</i>             | 120,4 (27,8)                                   | 28,5 (2,2)          | 6,5 (1,3)   |
| <i>Tachigali subvelutina</i>      | 147,5 (33,6)                                   | 31,7 (8,2)          | 6,2 (2,0)   |
| <i>Tachigali vulgaris</i>         | 100,3 (13,5)                                   | 29,3 (8,2)          | 6,1 (1,1)   |
| <i>Tapirira guianensis</i>        | 107,6 (16,5)                                   | 24,6 (6,9)          | 12,9 (2,6)  |
| <i>Vochysia thyrsoidea</i>        | 155,6 (47,9)                                   | 24,0 (5,2)          | 5,4 (3,7)   |
| <b>MÉDIA</b>                      | <b>99,5 (27,8)</b>                             | <b>25 (4,5)</b>     | <b>16,5 (34,4)</b>  |

Média seguida de desvio padrão.

Com base nos resultados de Melo Júnior et al. (2011) estudando anatomia ecológica do lenho de *Copaifera langsdorffii* do cerrado sul-brasileiro, o diâmetro médio dos vasos foi de 89  $\mu\text{m}$  e a frequência média dos mesmos foi de 8 vasos/ $\text{mm}^2$  assemelhando aos resultados encontrados neste trabalho. Em outro estudo de anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. de floresta e cerrado, Marcatti et al. (2001) encontraram os seguintes valores: 137 e 159 para o diâmetro dos vasos do ambiente de floresta e cerrado, respectivamente, e 7 para a frequência dos vasos tanto para o ambiente de floresta como para o cerrado.

De acordo com Denardi e Marchiori (2005), os resultados encontrados em seus estudos sobre anatomia ecológica da madeira de *Blepharocalyx salicifolius* em Campos de Cima da Serra, RS foram: 98,8 vasos/ $\text{mm}^2$  e 42,2  $\mu\text{m}$  para diâmetro dos vasos. Os resultados evidentemente diferentes podem ser explicados pelos ambientes de coletas das amostras e pela metodologia utilizada na coleta das mesmas.

No estudo de Voigt et al. (2010), os resultados médios das dimensões dos vasos em *Caryocar brasiliense* no município de Santa Rita do Passa Quatro (SP) foram 144,52  $\mu\text{m}$  para o diâmetro, 6,84 vasos/ $\text{mm}^2$  para a frequência e 12% para área ocupada pelos mesmos. As diferenças encontradas nos resultados podem ser explicadas pela metodologia adotada na coleta das amostras por Voigt et al. (2010), onde os corpos de provas foram obtidos somente a partir da porção mais externa do tronco.

As variações radiais dos vasos na madeira das espécies do Cerrado são apresentadas na Tabela 11. A espécie *A. tomentosum* apresentou 165 vasos/ $\text{mm}^2$  e apesar de serem muitos vasos, valor similar foi descrito por Sonsin et al. (2014), que encontraram frequência de 154 vasos/ $\text{mm}^2$  para esta mesma espécie.

De acordo com os resultados podemos perceber que todos os parâmetros dos vasos apresentaram modelo comum de variação radial entre as espécies. Para a frequência de vasos as espécies apresentaram tendência de diminuição dos valores no sentido medula-casca. Alguns autores relataram variação significativa entre as posições radiais para frequência de vasos com redução da mesma na direção medula-casca (CHAGAS et al., 2007 com *Eremanthus erythropappus*; ISHIGURI et al., 2009 com *Paraserianthes falcataria* ROQUE e TOMAZELLO FILHO, 2009 com *Gmelina arborea*; LIMA et al., 2011 com *Cariniana legalis*; LONGUI et al., 2012 com *Plathymenia reticulata*).

Tabela 11 – Valores de diâmetro, área e frequência de vasos por posição radial na madeira.

| <b>ESPÉCIE</b>                    | <b>PR (%)</b> | <b>Diâmetro (µm)</b> | <b>Área (%)</b> | <b>Frequência (nº/mm²)</b> |
|-----------------------------------|---------------|----------------------|-----------------|----------------------------|
| <i>Acosmium dasycarpum</i>        | 0             | 59,6                 | 18,8            | 14,2                       |
|                                   | 50            | 76,8                 | 20,1            | 12,7                       |
|                                   | 100           | 100,5                | 36,3            | 21,1                       |
| <i>Aspidosperma tomentosum</i>    | 0             | 110,0                | 25,3            | 176,9                      |
|                                   | 50            | 122,5                | 25,0            | 166,7                      |
|                                   | 100           | 134,0                | 47,3            | 151,3                      |
| <i>Astronium fraxinifolium</i>    | 0             | 63,6                 | 13,8            | 8,8                        |
|                                   | 50            | 69,1                 | 16,4            | 7,9                        |
|                                   | 100           | 99,1                 | 23,0            | 7,1                        |
| <i>Blepharocalyx salicifolius</i> | 0             | 92,3                 | 18,3            | 6,1                        |
|                                   | 50            | 96,3                 | 19,8            | 4,9                        |
|                                   | 100           | 99,1                 | 25,1            | 3,4                        |
| <i>Bowdichia virgilioides</i>     | 0             | 61,2                 | 20,1            | 7,8                        |
|                                   | 50            | 76,1                 | 22,7            | 6,5                        |
|                                   | 100           | 91,0                 | 30,4            | 5,4                        |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i>    | 0             | 96,2                 | 21,1            | 35,3                       |
|                                   | 50            | 102,8                | 24,5            | 24,3                       |
|                                   | 100           | 111,6                | 32,9            | 19,3                       |

Continua...

...continua

|                               |     |       |      |      |
|-------------------------------|-----|-------|------|------|
|                               | 0   | 93,3  | 18,3 | 8,3  |
| <i>Caryocar brasiliense</i>   | 50  | 104,2 | 22,3 | 7,1  |
|                               | 100 | 122,4 | 26,9 | 6,1  |
|                               | 0   | 92,2  | 15,3 | 7,1  |
| <i>Copaifera langsdorffii</i> | 50  | 96,7  | 16,9 | 5,1  |
|                               | 100 | 99,7  | 28,5 | 4,3  |
|                               | 0   | 92,7  | 18,5 | 3,1  |
| <i>Eriotheca pubescens</i>    | 50  | 95,8  | 22,2 | 2,7  |
|                               | 100 | 98,9  | 23,1 | 2,1  |
|                               | 0   | 94,9  | 18,0 | 5,4  |
| <i>Hymenaea stigonocarpa</i>  | 50  | 98,8  | 22,1 | 5,1  |
|                               | 100 | 104,1 | 23,4 | 4,5  |
|                               | 0   | 93,3  | 24,4 | 17,2 |
| <i>Kielmeyera coriacea</i>    | 50  | 102,6 | 26,1 | 14,1 |
|                               | 100 | 127,2 | 35,6 | 11,7 |
|                               | 0   | 75,6  | 16,7 | 11,1 |
| <i>Plathymenia reticulata</i> | 50  | 92,2  | 19,0 | 9,2  |
|                               | 100 | 104,1 | 25,5 | 7,1  |
|                               | 0   | 57,2  | 24,8 | 14,1 |
| <i>Pouteria ramiflora</i>     | 50  | 64,2  | 26,9 | 10,8 |
|                               | 100 | 117,9 | 39,6 | 7,2  |
|                               | 0   | 64,8  | 12,6 | 18,3 |
| <i>Qualea grandiflora</i>     | 50  | 72,7  | 26,8 | 13,7 |
|                               | 100 | 80,7  | 40,7 | 10,1 |

Continua...

...continua

|                              |     |       |      |      |
|------------------------------|-----|-------|------|------|
|                              | 0   | 95,2  | 13,0 | 8,5  |
| <i>Qualea parviflora</i>     | 50  | 108,3 | 19,6 | 7,0  |
|                              | 100 | 126,7 | 21,5 | 5,3  |
|                              | 0   | 124,5 | 26,5 | 9,4  |
| <i>Simarouba versicolor</i>  | 50  | 140,8 | 29,3 | 5,8  |
|                              | 100 | 152,7 | 36,9 | 4,6  |
|                              | 0   | 88,6  | 26,5 | 7,7  |
| <i>Tabebuia aurea</i>        | 50  | 132,5 | 28,1 | 6,7  |
|                              | 100 | 140,0 | 30,8 | 5,0  |
|                              | 0   | 120,7 | 26,4 | 8,0  |
| <i>Tachigali subvelutina</i> | 50  | 142,6 | 28,8 | 6,5  |
|                              | 100 | 179,2 | 39,8 | 4,1  |
|                              | 0   | 88,7  | 20,9 | 6,9  |
| <i>Tachigali vulgaris</i>    | 50  | 99,2  | 30,7 | 6,3  |
|                              | 100 | 112,9 | 36,3 | 5,1  |
|                              | 0   | 92,8  | 17,6 | 15,1 |
| <i>Tapirira guianensis</i>   | 50  | 102,3 | 24,0 | 13,2 |
|                              | 100 | 127,7 | 32,3 | 10,4 |
|                              | 0   | 117,3 | 21,5 | 8,2  |
| <i>Vochysia thyrsoidea</i>   | 50  | 157,0 | 24,3 | 4,9  |
|                              | 100 | 192,5 | 26,2 | 3,1  |

PR: posição radial.

Lima et al. (2010) não encontraram diferença significativa na variação radial da frequência de vasos no lenho de *Croton floribundus*. Segundo Rao et al. (1997) esta variável tem relação com a densidade da madeira e as madeiras com baixa frequência de vasos apresentam alta densidade.

Os valores do diâmetro dos vasos indicaram aumento na direção medula-casca. Essa tendência também foi verificada por encontrada por Dünisch et al. (2004), Chagas et al. (2007), Longui et al. (2009), Roque e Tomazello Filho (2009), Lima et al. (2010), Lima et al. (2011), Lobão (2011), Lobão et al. (2012), Longui et al. (2012), Melo et al. (2013).

Carlquist (1989) relata que o aumento do diâmetro do vaso no sentido radial (medula-casca) em função da idade da árvore pode ser considerado como uma adaptação anatômica do xilema para aumentar o volume de seiva e, conseqüentemente, aumentar a sua capacidade fotossintética e, segundo Fan et al. (2009) essa variação crescente é resultado do processo de maturação do cambio vascular da árvore.

Da mesma forma, a porcentagem de área ocupada por vasos apresentou tendência de aumento na direção medula-casca, assim como reportado por Chagas et al. (2007), Roque e Tomazello Filho (2009), Lobão (2011) e Lobão et al. (2012). Segundo Burger e Richter (1991) o aumento tanto da área ocupada por vasos como do diâmetro dos vasos é devido à maior atividade de fluxo ascendente de seiva no alburno em relação ao cerne.

### *5.5 Características anatômicas e densidade aparente média da madeira*

A relação entre as características anatômicas e a densidade aparente média da madeira no DAP do tronco das árvores, e sua ordem de importância foram determinadas através da análise de regressão múltipla (Tabela 12), considerando-se como repetições os valores médios dos três indivíduos por espécie.

Observa-se que, de modo geral, as características anatômicas explicam 88% da variação total da densidade aparente média da madeira. As variáveis não significativas, de menor interesse na determinação da densidade aparente média da madeira, retiradas por alterar os coeficientes de determinação múltipla das regressões apenas em 0,01, foram: diâmetro do lume das fibras, largura das fibras e frequência dos vasos.

Assim, das variáveis relacionadas para explicar a densidade aparente média da madeira em regressão Stepwise, a 5% de probabilidade, selecionou-se a espessura da parede celular das fibras, comprimento das fibras, diâmetro dos vasos e porcentagem de área ocupada por vasos para compor o modelo de regressão (Eq. 10), que explica 87% da

variação total da densidade aparente média, com a espessura da parede celular das fibras representando 32,4% desse valor.

Tabela 12 – Análise de regressão múltipla entre os valores médios da densidade aparente média (variável dependente) e as características anatômicas (variáveis independentes) da madeira das espécies estudadas.

| Passos | Espessura da parede | Diâmetro do lume | Comprimento das fibras | Largura das fibras | Frequência dos vasos | Diâmetro dos vasos | % Área dos vasos | R <sup>2</sup> |
|--------|---------------------|------------------|------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|------------------|----------------|
| 1      | 18,6                | 11,0             | 16,2                   | 5,8                | 4,1                  | 24,4               | 19,7             | 0,88           |
| 2      | 25,4                | 6,3              | 16,5                   | _                  | 3,8                  | 26,1               | 21,6             | 0,88           |
| 3      | 27,8                | 7,2              | 17,2                   | _                  | _                    | 27,1               | 20,5             | 0,88           |
| 4      | 32,4                | _                | 17,9                   | _                  | _                    | 30,3               | 19,3             | 0,87           |

Os valores abaixo das variáveis independentes são os coeficientes estandardizados (betas) e representam a proporção com que cada variável contribui para a determinação da variável dependente, explicada pela regressão; o símbolo “\_” indica que a variável independente se manifestou NS para o nível de probabilidade de  $p < 0,05$ .

$$D_{méd.} = 1,03 + 0,03 * EPF - 0,002 * CF - 0,002 * DV - 0,06 * AV \quad (10)$$

Onde:

Dméd.: densidade aparente média

EPF: espessura da parede celular das fibras

CF: comprimento das fibras

DV: diâmetro dos vasos

AV: porcentagem de área ocupada por vasos

Os valores das correlações entre as características anatômicas e a densidade aparente da madeira são apresentados na Tabela 13. A partir destes resultados é possível perceber que a densidade apresentou correlações com a espessura da parede celular das fibras (0,7574), diâmetro dos vasos (-0,7433) e porcentagem de área ocupada por vasos (-0,7032), valores em negrito.

Tabela 13 – Correlações entre os valores médios de densidade aparente e características anatômicas da madeira das espécies estudadas.

|            | <b>D</b> | <b>EPF</b>    | <b>DLF</b> | <b>CF</b> | <b>LF</b> | <b>FV</b> | <b>DV</b>      | <b>AV</b>      |
|------------|----------|---------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------------|
| <b>D</b>   | 1,0000   | <b>0,7574</b> | -0,4448    | 0,0242    | 0,2124    | -0,1678   | <b>-0,7433</b> | <b>-0,7032</b> |
| <b>EPF</b> |          | 1,0000        | -0,4274    | 0,4022    | 0,2124    | -0,1395   | -0,4721        | -0,6669        |
| <b>DLF</b> |          |               | 1,000      | -0,2068   | 0,5020    | -0,0464   | 0,4105         | 0,1460         |
| <b>CF</b>  |          |               |            | 1,0000    | 0,3118    | -0,0766   | -0,0873        | -0,2039        |
| <b>LF</b>  |          |               |            |           | 1,0000    | -0,1936   | -0,0127        | -0,4257        |
| <b>FV</b>  |          |               |            |           |           | 1,0000    | 0,1436         | 0,4086         |
| <b>DV</b>  |          |               |            |           |           |           | 1,0000         | 0,3781         |
| <b>AV</b>  |          |               |            |           |           |           |                | 1,0000         |

D- densidade; EPF- espessura da parede celular das fibras; CF- comprimento das fibras; LF- largura das fibras; DLF- diâmetro do lume das fibras; FV- frequência dos vasos; DV- diâmetro dos vasos; AV- área ocupada por vasos. Valores significativos em negrito.

Fujiwara (1992) em seu estudo com 50 espécies de madeiras japonesas, encontrou forte correlação entre a espessura da parede das fibras e densidade, sendo a madeira mais densa quando as fibras apresentavam paredes mais espessas. De acordo com Bowyer et al. (2003), a densidade da madeira das espécies também está associada ao diâmetro dos vasos. Sendo que vasos com maiores diâmetros ajudam na redução da densidade visto que implicam proporcionalmente em mais espaços vazios (LONGUI et al., 2011).

A relação entre a densidade e os elementos anatômicos da madeira de árvores nativas foi avaliada por Longui et al. (2009) para *Luehea divaricata*. Segundo os autores, o estudo das correlações entre anatomia e densidade aparente é muito importante para o conhecimento e indicação das espécies para usos específicos. Sendo assim, a escassez de trabalhos com espécies nativas que relacionam estas características pode influenciar na exploração de forma não sustentável destas.

Para as variáveis densidade e espessura da parede celular das fibras a correlação é positiva, ou seja, quanto mais espessa for a parede celular mais densa será a madeira (Figura 16A), enquanto que para diâmetro dos vasos e porcentagem de área ocupada por vasos a correlação é negativa, isto é, quanto menor o diâmetro dos vasos e a porcentagem de área ocupada por eles maior será a densidade da madeira da espécie (Figura 16B e C, respectivamente).

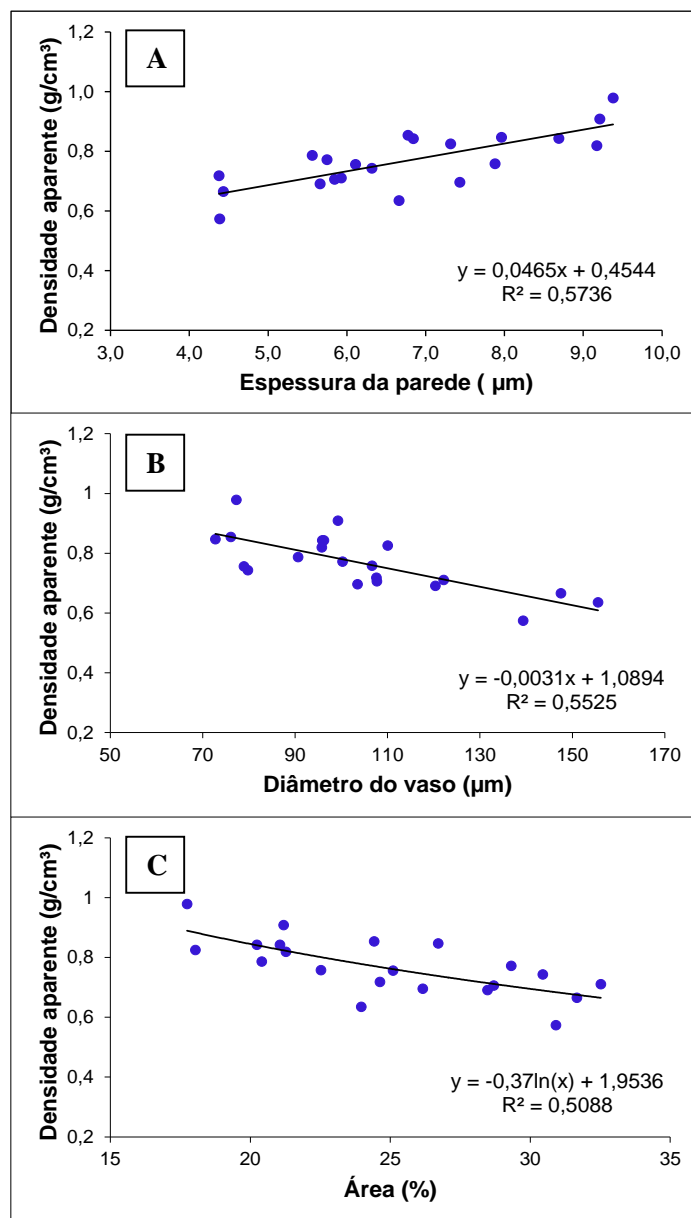


Figura 16 – Densidade aparente média em função A) da espessura média da parede celular das fibras; B) do diâmetro médio dos vasos e C) da porcentagem de área ocupada por vasos.

Para o ajuste dos modelos, as linhas de tendências foram determinadas de acordo com o maior valor do coeficiente de determinação. Sendo assim, para os dados de espessura da parede das fibras e diâmetro do vaso (Figuras 16A e B) o modelo linear e para os dados de área ocupada por vasos (Figura 16C) o logarítmico foram os que melhor se ajustaram.

Da mesma forma, Wimmer et al. (2002) destacam que o aumento do déficit de água no solo induz a redução do diâmetro dos vasos na madeira das árvores de *Eucalyptus globulus* e *E. nitens*, com os anéis de crescimento apresentando menor/maior densidade no início e no final da estação de crescimento. Desta forma, a densidade da madeira, segundo Downes et al. (2000), é resultado das dimensões dos vasos e da espessura da parede celular.

### 5.6 Características energéticas

Os valores médios dos teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo das espécies estudadas estão apresentados na Tabela 14. Para a caracterização energética, foram analisadas 21 espécies. Devido a problemas na manipulação da amostra de *Acosmium dasycarpum* não foi possível adicionar esta espécie nesta análise.

De acordo com os resultados encontrados os valores variaram de 74,0% (*Q. grandiflora*) - 83,7% (*T. subvelutina*) para o teor de materiais voláteis, de 0,1% (*P. reticulata*) - 1,8% (*A. fraxinifolium*) para o teor de cinzas e de 15,5% (*V. thyrsoidea*) - 25,5% (*Q. grandiflora*) para o teor de carbono fixo.

Segundo Vieira et al. (2013), o teor de carbono fixo está relacionado ao teor de materiais voláteis e cinzas. Porém, essa relação é mais forte com o teor de materiais voláteis já que os teores de cinzas são encontrados em pequenas quantidades na madeira das árvores. Para o mesmo autor a avaliação do teor de cinzas para produção de energia é muito importante porque quando presente em altas concentrações, diminui o poder calorífico e causa perda de eficiência energética. Além disto, estas altas concentrações despendem mais limpezas em fornalhas ou outros equipamentos em que a madeira é utilizada como fonte de energia, danificando-os (OLIVEIRA, 2003).

Os teores de carbono fixo e materiais voláteis encontrados estão dentro das faixas definidas por Brito e Barichello (1982) que é de 15-25% e 75-85%, respectivamente. Somente a espécie *Q. grandiflora* apresentou um teor de materiais voláteis abaixo da recomendação feita por estes autores. De acordo com Chaves et al. (2013), os materiais voláteis volatizam rapidamente durante a queima da biomassa, influenciando na diminuição do tempo de residência do combustível dentro do equipamento de combustão, podendo resultar em uma baixa eficiência energética. Ao contrário disto, combustíveis com altos teores de carbono fixo queimam vagarosamente (VALE et al., 2011).

Tabela 14 – Teor de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo da madeira das espécies.

| Espécie                           | MV (%)     | CZ (%)    | CF (%)     |
|-----------------------------------|------------|-----------|------------|
| <i>Aspidosperma tomentosum</i>    | 81,9 (1,7) | 1,1 (0,2) | 17,0 (1,5) |
| <i>Astronium fraxinifolium</i>    | 79,3 (0,4) | 1,8 (0,4) | 18,9 (0,3) |
| <i>Blepharocalyx salicifolius</i> | 78,6 (0,5) | 0,9 (0,3) | 20,5 (0,5) |
| <i>Bowdichia virgilioides</i>     | 79,3 (0,3) | 1,8 (0,2) | 18,9 (0,3) |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i>    | 80,8 (0,2) | 1,0 (0,1) | 18,2 (0,3) |
| <i>Caryocar brasiliense</i>       | 82,6 (0,4) | 0,4 (0,1) | 17,0 (0,3) |
| <i>Copaifera langsdorffii</i>     | 75,2 (0,7) | 0,5 (0,1) | 24,3 (0,8) |
| <i>Eriotheca pubescens</i>        | 81,5 (2,2) | 0,5 (0,1) | 18,0 (2,0) |
| <i>Hymenaea stigonocarpa</i>      | 79,3 (0,3) | 0,3 (0,1) | 20,4 (0,4) |
| <i>Kielmeyera coriacea</i>        | 77,3 (0,4) | 1,6 (0,2) | 21,1 (0,8) |
| <i>Miconia cuspidata</i>          | 79,4 (0,4) | 0,7 (0,3) | 20,0 (0,7) |
| <i>Plathymenia reticulata</i>     | 83,3 (6,9) | 0,1 (0,2) | 16,6 (0,5) |
| <i>Pouteria ramiflora</i>         | 78,3 (0,6) | 1,4 (0,2) | 20,3 (0,8) |
| <i>Qualea grandiflora</i>         | 74,0 (0,3) | 0,5 (0,2) | 25,5 (0,1) |
| <i>Qualea parviflora</i>          | 81,9 (0,5) | 1,1 (0,1) | 17,0 (0,5) |
| <i>Simarouba versicolor</i>       | 82,6 (0,5) | 0,2 (0,2) | 17,2 (0,7) |
| <i>Tabebuia aurea</i>             | 78,3 (0,4) | 1,7 (0,2) | 20,1 (0,8) |
| <i>Tachigali subvelutina</i>      | 83,7 (0,4) | 0,7 (0,1) | 15,6 (1,0) |
| <i>Tachigali vulgaris</i>         | 80,4 (2,1) | 1,1 (0,5) | 18,5 (2,1) |
| <i>Tapirira guianensis</i>        | 82,8 (0,5) | 0,6 (0,1) | 16,6 (0,8) |
| <i>Vochysia thyrsoidea</i>        | 83,1 (0,6) | 1,4 (0,1) | 15,5 (0,9) |
| MÉDIA                             | 80,2 (2,7) | 0,9 (0,5) | 18,9 (2,6) |

MV- teor de materiais voláteis; CZ- teor de cinzas; CF- teor de carbono fixo. Média seguida de desvio padrão.

As espécies *B. salicifolius*, *C. langsdorffii*, *H. stigonocarpa*, *K. coriacea*, *M. cuspidata*, *P. ramiflora*, *Q. grandiflora* e *T. aurea* se destacaram por apresentarem os maiores teores de carbono fixo.

Segundo Brito e Barrichelo (1982), combustíveis com altos teores de carbono fixo apresentam queima mais lenta e, conseqüentemente, apresentam maior tempo de residência dentro dos equipamentos de queima, quando comparados a combustíveis com menores teores deste material.

Vale et al. (2002) encontraram uma variação de 0,14-2,73% de teor de cinzas para espécies do Cerrado. A variação encontrada no presente estudo está dentro da faixa de variação encontrada por estes autores. As cinzas são substâncias que não entram em combustão, ficam na forma sólida e são indesejáveis para a produção de energia (CHAVES et al., 2013). É um resíduo mineral oriundo dos componentes minerais do lenho e da casca (VITAL et al., 1986). Sendo assim, quanto menor o teor de cinzas maior será a eficiência energética da biomassa.

No estudo de quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do Cerrado, Vale et al. (2002) verificaram que as espécies *Sclerolobium paniculatum*, *Pterodon pubescens* e *Dalbergia miscolobium*, sobressaíram quanto a produção de energia por apresentarem valores médios de carbono fixo (21; 19,34 e 21,45%, respectivamente) e baixos teores de cinzas (0,39; 0,24 e 0,26%, respectivamente). Desta forma, podemos citar as espécies *H. stigonocarpa*, *C. langsdorffii* e *Q. grandiflora*, do presente estudo, com maior potencial energético quando comparadas as demais, por apresentarem altos teores de carbono fixo associados a baixos teores de cinzas e valores aceitáveis para o teor de materiais voláteis.

Apesar das espécies *B. salicifolius*, *K. coriacea*, *M. cuspidata*, *P. ramiflora* e *T. aurea* apresentarem altos valores para carbono fixo, também exibiram altos teores de cinzas o que interfere no potencial energético dessas espécies. Além das cinzas reduzirem a eficiência energética, altas concentrações deste material despendem mais limpezas em fornalhas ou outros equipamentos em que a madeira é utilizada como fonte de energia, danificando-os (OLIVEIRA, 2003).

Na Tabela 15 estão descritos os resultados encontrados por Vale et al. (2002) de caracterização energética de algumas espécies do presente estudo. As pequenas diferenças observadas entre o trabalho de Vale et al. (2002) e o presente estudo podem estar relacionadas a metodologia de amostragem. Neste trabalho foi feita uma única análise de amostras obtidas de forma não destrutiva, na altura do DAP, enquanto no trabalho supracitado, os cálculos foram desenvolvidos à partir de médias de amostras retiradas de forma destrutiva, em várias posições longitudinais.

Tabela 15 – Resultados encontrados por Vale et al. (2002) na caracterização energética de algumas espécies comuns ao presente estudo.

| ESPÉCIE                           | MV (%)      | CZ (%)    | CF (%)      |
|-----------------------------------|-------------|-----------|-------------|
| <i>Aspidosperma tomentosum</i>    | 80,3 (81,9) | 0,4 (1,1) | 19,3 (17,0) |
| <i>Blepharocalyx salicifolius</i> | 78,9 (78,6) | 0,7 (0,9) | 20,5 (20,5) |
| <i>Byrsonima verbascifolia</i>    | 74,6 (80,8) | 1,2 (1,0) | 24,1 (18,2) |
| <i>Caryocar brasiliense</i>       | 80,1 (82,6) | 0,4 (0,4) | 19,5 (17,0) |
| <i>Eriotheca pubescens</i>        | 79,1 (81,5) | 1,0 (0,5) | 19,9 (18,0) |
| <i>Hymenaea stigonocarpa</i>      | 77,4 (79,3) | 1,1 (0,3) | 21,6 (20,4) |
| <i>Kielmeyera coriacea</i>        | 79,3 (77,3) | 0,3 (1,6) | 20,4 (21,1) |
| <i>Pouteria ramiflora</i>         | 78,3 (78,3) | 0,6 (1,4) | 21,2 (20,3) |
| <i>Qualea grandiflora</i>         | 76,4 (74,0) | 0,4 (0,5) | 23,3 (25,5) |
| <i>Qualea parviflora</i>          | 77,1 (81,9) | 0,8 (1,1) | 22,1 (17,0) |
| <i>Vochysia thyrsoidea</i>        | 80,0 (83,1) | 0,8 (1,4) | 19,2 (15,5) |

MV- teor de materiais voláteis; CZ- teor de cinzas; CF- teor de carbono fixo. Valores ( ) do presente estudo.

## 5.7 Agrupamento das espécies estudadas

### 5.7.1 COM BASE NA DENSIDADE APARENTE

O agrupamento das espécies com base na densidade aparente indicou que a maioria das espécies, ou seja, 54,5% foram classificadas como densidade de classe 2, seguida por 1 (27,2%) e 3 (18,1%) (Tabela 16).

Tabela 16 – Classificação das espécies estudadas de acordo com a densidade aparente.

| Classificação                         | Espécies   |
|---------------------------------------|--|
| 1<br>(0,57 a 0,71g/cm <sup>3</sup> )  | <i>A. tomentosum</i> ; <i>E. pubescens</i> ; <i>S. versicolor</i> ; <i>T. aurea</i> ; <i>T. guianensis</i> ; <i>V. thyrsoidea</i>  |
| 2<br>(0,72 a 0,86g/cm <sup>3</sup> )  | <i>A. dasycarpum</i> ; <i>B. salicifolius</i> ; <i>B. virgilioides</i> ; <i>B. verbascifolia</i> ; <i>C. brasiliense</i> ; <i>C. langsdorffii</i> ; <i>K. coriacea</i> ; <i>P. reticulata</i> ; <i>P. ramiflora</i> ; <i>Q. grandiflora</i> ; <i>T. subvelutina</i> ; <i>T. vulgaris</i> |
| 3<br>(0,87 a 0,99 g/cm <sup>3</sup> ) | <i>A. fraxinifolium</i> ; <i>H. stigonocarpa</i> ; <i>M. cuspidata</i> ; <i>Q. parviflora</i>  |

### 5.7.2 PELO CONJUNTO DAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS, FÍSICA E ENERGÉTICAS

As características energéticas teor de cinzas, carbono fixo e materiais voláteis, são responsáveis por 70% da variância do conjunto de dados da análise de componentes principais, sendo que a última representa 37,6% deste valor. De acordo com Vieira et al. (2013), o teor de carbono fixo é influenciado pelo teor de materiais voláteis e cinzas. Porém, essa relação é mais forte com o teor de materiais voláteis já que os teores de cinzas são encontrados em pequenas quantidades na madeira das árvores.

O agrupamento das espécies pelo conjunto das características anatômicas, físicas (densidade) e energéticas é apresentado na Figura 17. As variáveis densidade; comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras; diâmetro, frequência e área ocupada por vasos; teor de cinzas, materiais voláteis e carbono fixo estão representados pelos vetores do gráfico. Dentre as características apenas a frequência dos vasos não apresentou significância estatística.

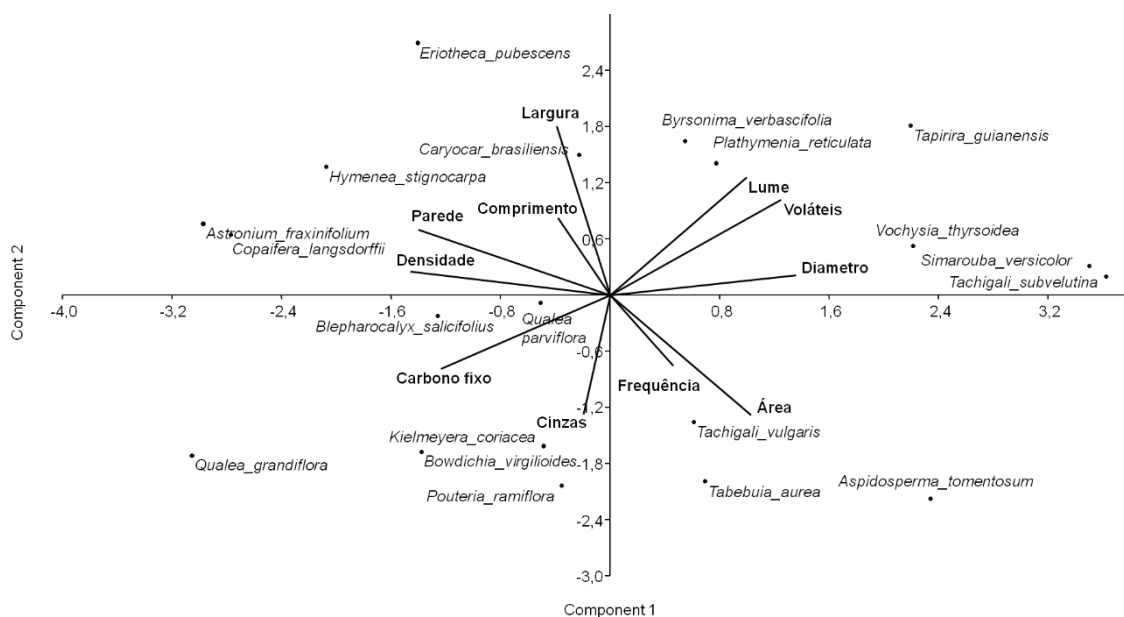


Figura 17 – Análise dos componentes principais da densidade, características anatômicas e energéticas das espécies estudadas (Voláteis- valor do eixo: 4,138; variância: 37,69%; Cinzas- valor do eixo: 2,306; variância: 20,97%; Carbono fixo- valor do eixo: 1,257; variância: 11,43%; Densidade- valor do eixo: 1,035; variância: 9,41%; Parede - valor do eixo: 0,885; variância: 8,04%).

Os vetores de menores tamanhos, comprimento das fibras e frequência dos vasos, indicam que estas variáveis influenciam com intensidades similares entre as características da madeira. Lobão et al. (2011) em agrupamento de espécies florestais por análises univariadas e multivariadas das características anatômica, física e química da madeira, encontraram resultados similares usando espécies nativas e exóticas. Em contrapartida, os vetores de maiores tamanhos (densidade; largura, espessura da parede, comprimento e diâmetro do lume das fibras; diâmetro e área ocupada por vasos; carbono fixo e materiais voláteis) são mais relevantes para explicar as variações entre as espécies. A densidade e o diâmetro dos vasos também foram apontados por Lobão et al. (2011) como vetores importantes nestas avaliações com diversas variáveis.

Os vetores de espessura da parede das fibras e densidade indicam a forte relação que existe entre estas duas variáveis. Assim, quanto maior a espessura da parede da fibra maior será a densidade do lenho da árvore. Yi-Quing et al. (2006) também verificaram em *Eucalyptus* spp. que a espessura da parede das fibras tem forte relação com a densidade básica da madeira e, por isso, influenciam nos usos da madeira. Lobão et al.

(2011) destacam a mesma relação entre espessura de parede de fibras e densidade da madeira para as espécies brasileiras *Hymenolobium petraeum*, *Aspidosperma polyneuron*, *Tabebuia serratifolia*, *Ocotea porosa* e *Balfourodendron riedelianum*.

O carbono fixo apresentou uma relação inversa ao teor de materiais voláteis, sendo o esperado, uma vez que são características energéticas complementares. Já em relação as características anatômicas, o carbono fixo também apresentou relação inversa a diâmetro do lume das fibras e diâmetro dos vasos. Assim, uma vez que estas características evidenciam espaços vazios, é esperado que quanto maiores os seus valores, menor seja a quantidade de carbono fixo.

Protásio et al. (2013), avaliando o potencial energético do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. aos 42 meses de idade, encontraram correlação negativa com o teor de carbono fixo e o potencial siderúrgico do carvão. Costa et al. (2014), estudando espécies nativas do Cerrado para a produção de carvão vegetal, verificaram que altos teores de materiais voláteis resultam em menores teores de carbono fixo, sendo que *Casearia sylvestris*, *Luehea divaricata* e *Guazuma ulmifolia* se destacaram pelo elevado teor de carbono fixo e grande potencial para uso siderúrgico.

A frequência dos vasos apresentou relação direta com a área ocupada por estes, no entanto, não se pode afirmar que quanto maior a frequência maior a área ocupada pelos vasos, já que algumas espécies apresentam um grande número de vasos com diâmetros reduzidos e outras um número pequeno de vasos com diâmetros maiores. Isto é evidente nos resultados encontrados no presente estudo. A espécie *T. subvelutina* apresentou menor frequência (6,2 vasos/mm<sup>2</sup>) e maior área ocupada (31,7%) por vasos quando comparada a espécie *T. aurea* que obteve maior frequência (6,5 vasos/mm<sup>2</sup>) e menor área ocupada (28,5 %) por vasos. Isso ocorre devido ao diâmetro dos vasos, onde as espécies apresentaram 147,5 e 120,4 µm de diâmetro, respectivamente.

O grupo formado pelas espécies *B. verbascifolia*, *P. reticulata*, *S. versicolor*, *T. guianensis*, *T. subvelutina* e *V. thyrsoidea* foram as espécies que apresentaram maior frequência de vasos e maiores áreas ocupadas por estes. Estas espécies também são as que apresentam maior quantidade de materiais voláteis em relação a característica bioenergética.

De acordo com Gomes e Oliveira (1980), a partir de 300°C as ligações glicosídicas na celulose são rompidas formando substâncias que sofrerão reações de desidratação e eliminação, gerando assim vários compostos voláteis como ácido acético, fenóis, acetona e água. Segundo Chaves et al. (2013), os materiais voláteis volatizam rapidamente durante

a queima da biomassa, influenciando na diminuição do tempo de residência do combustível dentro do equipamento de combustão, podendo resultar em uma baixa eficiência energética.

As espécies *B. salicifolius*, *Q. parviflora*, *Q. grandiflora*, *A. fraxinifolium*, *C. langsdorffii*, *H. stignocarpa*, *B. virgilioides* foram as que apresentaram os maiores teores de carbono fixo. Além disto, o carbono fixo destas espécies apresentaram relação direta e positiva com densidade, espessura da parede, comprimento e largura da fibra.

O incremento destas características anatômicas influencia diretamente o carbono fixo resultante das espécies, sendo que quanto maior a quantidade de fibras, com maior deposição de parede, resultará em um aumento da densidade da madeira e também em maior quantidade de matéria para a pirolise (NOBRE, 2013).

O teor de cinzas é responsável por 20,9% da variância do conjunto de dados, perdendo apenas para materiais voláteis. Segundo Assis et al. (2012), o teor de cinzas apresenta alto coeficiente de variação por ser formado por pequenas quantidades percentuais, quando comparado com os demais compostos químicos do carvão vegetal. Estes autores, na avaliação de qualidade e rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, encontraram um coeficiente de variação de 34,28% para o teor de cinzas, o maior das características avaliadas.

### 5.8 Potenciais de usos das espécies estudadas

Os potenciais de usos das espécies do presente estudo estão apresentados na Tabela 17. Alguns dos principais parâmetros para estudos relacionados à tecnologia da madeira, que auxiliam na análise dos resultados e na destinação correta do produto de acordo com o uso são a composição química (SJÖSTRÖM, 1993), a estrutura anatômica (BURGER e RICHTER, 1991) e a densidade (VITAL, 1984; MEDEIROS NETO, 2012).

Segundo Oliveira et al. (2006), o estudo das características anatômicas reflete no melhor conhecimento destas e, conseqüentemente, auxilia no direcionamento adequado da utilização das espécies para vários usos.

Em vários países a madeira tem sido amplamente utilizada na construção civil, diferentemente do que acontece no Brasil, onde os potenciais das espécies não são adequadamente explorados (TOMAZELLO FILHO e CURY, 2011).

Tabela 17 – Potenciais de usos das espécies estudadas.

| USOS   |                    | PARÂMETROS            | ESPÉCIES  |
|--|--------------------|-----------------------|---|
| ENERGIA<br>(VALE et al.,<br>2002)                    | Lenha              | D<br>EPF              | <i>A. dasycarpum</i> ; <i>A. tomentosum</i> ; <i>B. salicifolius</i> ; <i>B. virgilioides</i> ; <i>E. pubescens</i> ; <i>P. ramiflora</i> ; <i>T. aurea</i> ; <i>T. vulgaris</i> e <i>V. thyrsoidea</i> .   |
| CONSTRUÇÃO<br>CIVIL<br>(NAHUZ, 1974;<br>IPT, 1989)   | PI<br>AD           | D                     | <i>A. dasycarpum</i> , <i>A. tomentosum</i> , <i>A. fraxinifolium</i> , <i>B. salicifolius</i> , <i>B. virgilioides</i> , <i>B. verbascifolia</i> , <i>C. brasiliense</i> , <i>C. langsdorffii</i> , <i>E. pubescens</i> , <i>H. stigonocarpa</i> , <i>K. coriacea</i> , <i>M. cuspidata</i> , <i>P. reticulata</i> , <i>P. ramiflora</i> , <i>Q. grandiflora</i> , <i>Q. parviflora</i> , <i>T. subvelutina</i> e <i>T. vulgaris</i> |
|  | LE<br>LeiE<br>LiUG | D                     | <i>S. versicolor</i> , <i>T. aurea</i> , <i>T. guianensis</i> e <i>V. thyrsoidea</i>  |
| PAPEL E CELULOSE<br>(FOELKEL e<br>BARRICHELLO, 1975) |                    | EPF<br>C<br>LF<br>DLF | <i>T. aurea</i> ; <i>T. guianensis</i> ; <i>T. subvelutina</i> ; <i>S. versicolor</i> ; <i>V. thyrsoidea</i>  |

D: densidade; EPF: espessura da parede das fibras; CF: teor de carbono fixo; MV: teor de materiais voláteis; CZ: teor de cinzas; PI: pesada interna; AD: assoalhos domésticos; LE: leve, em esquadria; LeiE: leve externa e interna estrutura; LiUG: leve interna, de utilidade geral; C: comprimento das fibras; LF: largura das fibras; DLF: diâmetro do lume das fibras.

Os parâmetros determinados neste estudo já foram utilizados por Nahuz (1974), Foelkel e Barrichelo (1975), Brito e Barrichelo (1982), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1989), Vale et al. (2002), Paula (2003), Rocha e Potiguara (2007), Miranda e Castelo (2012), Nisgoski et al. (2012), Costa et al. (2014) e Benites et al. (2015) na indicação de usos de espécies florestais.

A partir da avaliação da densidade e espessura da parede das fibras, as espécies *A. dasycarpum*; *A. tomentosum*; *A. fraxinifolium*; *B. salicifolius*; *B. virgilioides*; *C. brasiliense*; *C. langsdorffii*; *E. pubescens*; *H. stigonocarpa*; *P. ramiflora*; *Q. grandiflora*; *Q. parviflora*; *T. aurea* e *T. vulgaris* apresentaram potencial para serem utilizadas na

geração de energia, na queima direta como lenha. De acordo com Vale et al. (2002), das quarentas e sete espécies do Cerrado estudadas, todas podem ser utilizadas para geração de calor, mas se o objetivo é potencializar a produção de calor, outras características devem ser analisadas.

De acordo com Paula (2003), a espessura da parede das fibras e a densidade da madeira apontam se determinada espécie pode ser utilizada ou não para geração de energia, porque quanto mais espessa for a parede, mais substâncias básicas geradores de energia como celulose, lignina e hemiceluloses terá a fibra. Esta autora recomenda fibras com fração parede alta, acima de 60% e densidade alta, acima de 0,6 g/cm<sup>3</sup> para geração de energia.

Segundo Vale et al. (2002), madeiras com baixa densidade, para produção direta de energia, apresentam uma queima mais rápida e uma menor produção de energia por unidade de volume, quando comparadas com as que possuem altas densidades. No entanto, o autor ressalta que densidades muito altas dificulta o início do processo de queima e recomenda uma variação na densidade de 0,65 a 0,80 g/cm<sup>3</sup> para facilitar o início deste processo.

Para a produção de papel e celulose, os parâmetros e índices de classificação calculados estão demonstrados na Tabela 18. A partir dos resultados encontrados, as espécies apresentaram uma variação de 35,20 (*T. guianensis*) – 80% (*Q. grandiflora*) para a fração parede; 16,28 (*K. coriacea*) – 65,20% (*T. guianensis*) para o coeficiente de flexibilidade; 40,09 (*A. fraxinifolium*) – 92,47 (*C. brasiliense*) para o índice de enfiamento e 0,54 (*T. guianensis*) – 3,74 (*Q. parviflora*) para o índice de Runkel.

Para a fração parede, apenas a espécie *T. guianensis* (35,20%) apresentou valor satisfatório para este parâmetro. Segundo Foelkel e Barrichelo (1975), a fração parede influencia a qualidade da celulose produzida, sendo que valores maiores que 40% não produzem celulose de boa qualidade já que as fibras são muito rígidas, pouco flexíveis e com problemas nas interligações destas. Neste sentido, de acordo apenas com esse parâmetro, a celulose da madeira da espécie *T. guianensis* pode apresentar boa qualidade, porque apresentou valor menor que 40%.

Miranda e Castelo (2012) também encontraram um bom índice de fração parede em *Parkia gigantocarpa* Ducke no estudo de avaliações anatômicas das fibras da madeira desta espécie.

Tabela 18 – Índices de classificação da qualidade da madeira das espécies estudadas para produção de papel.

| ESPÉCIE                 | FP (%) | CF (%) | IE    | IR   |
|-------------------------|--------|--------|-------|------|
| <i>A. dasycarpum</i>    | 67,40  | 32,60  | 64,50 | 2,07 |
| <i>A. tomentosum</i>    | 63,78  | 35,68  | 58,55 | 1,79 |
| <i>A. fraxinifolium</i> | 73,73  | 26,27  | 40,09 | 2,81 |
| <i>B. salicifolius</i>  | 66,34  | 33,17  | 55,13 | 2,00 |
| <i>B. virgilioides</i>  | 77,71  | 22,86  | 72,34 | 3,40 |
| <i>B. verbascifolia</i> | 53,43  | 46,21  | 49,80 | 1,16 |
| <i>C. brasiliense</i>   | 73,49  | 26,51  | 92,47 | 2,77 |
| <i>C. langsdorffii</i>  | 67,97  | 32,03  | 42,92 | 2,12 |
| <i>E. pubescens</i>     | 69,43  | 30,57  | 77,47 | 2,27 |
| <i>H. stigonocarpa</i>  | 73,02  | 26,98  | 42,19 | 2,71 |
| <i>K. coriacea</i>      | 53,95  | 16,28  | 75,38 | 3,31 |
| <i>P. reticulata</i>    | 52,09  | 47,91  | 44,83 | 1,09 |
| <i>P. ramiflora</i>     | 67,38  | 32,62  | 53,91 | 2,07 |
| <i>Q. grandiflora</i>   | 80,00  | 20,00  | 57,01 | 4,00 |
| <i>Q. parviflora</i>    | 78,92  | 21,08  | 57,98 | 3,74 |
| <i>S. versicolor</i>    | 42,31  | 57,69  | 48,71 | 0,73 |
| <i>T. aurea</i>         | 61,96  | 38,59  | 55,35 | 1,61 |
| <i>T. subvelutina</i>   | 42,11  | 57,89  | 43,09 | 0,73 |
| <i>T. vulgaris</i>      | 61,96  | 38,04  | 48,97 | 1,63 |
| <i>T. guianensis</i>    | 35,20  | 65,20  | 42,64 | 0,54 |
| <i>V. thyrsoidea</i>    | 61,47  | 37,61  | 55,21 | 1,63 |

FP: fração parede; CF: coeficiente de flexibilidade; IE: índice de enfiamento; IR: índice de Runkel.

No estudo de caracterização anatômica das fibras de oito espécies florestais do Cerrado de Mato Grosso do Sul para a produção de papel, Benites et al. (2015)

encontraram valor satisfatório de fração parede apenas para *Cedrela fissilis* Vell. As demais espécies apresentaram fibras rígidas, o que dificulta o processo de produção da polpa.

Para o coeficiente de flexibilidade, as espécies *T. guianensis*, *T. subvelutina* e *S. versicolor* apresentaram os maiores valores, 65,20; 57,89 e 57,69%, respectivamente. Segundo, Rocha e Potiguara (2007), o coeficiente de flexibilidade mostra a resistência das fibras a ruptura durante o processo de fabricação do papel, sendo que quanto maior o valor, maior o número de ligações entre as fibras e maior a resistência das fibras ao rompimento. Valor superior a estes foi encontrado por Nisgoski et al. (2012) no estudo de características anatômicas da madeira e índices de resistência do papel de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake proveniente de plantio experimental.

Para o índice de enfiletramento, as espécies *A. dasycarpum*, *A. tomentosum*, *B. salicifolius*, *C. brasiliense*, *K. coriacea*, *P. ramiflora*, *Q. grandiflora*, *Q. parviflora*, *T. aurea* e *V. thyrsoidea* apresentaram valores satisfatórios de acordo com Foelkel e Barrichelo (1975). Estes autores afirmam que este índice indica a resistência das fibras ao rasgo e recomendam fibras com valor superior a 50 para este parâmetro. Benites et al. (2015) só não encontraram valores acima de 50 para *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth., que apresentou 43,25 para o índice de enfiletramento.

De acordo com a classificação do índice de Runkel, nenhuma das espécies estudadas são consideradas excelentes ou muito boas para produção de papel. As espécies *S. versicolor*, *T. subvelutina* e *T. guianensis* são consideradas boas. As espécies *A. tomentosum*, *B. salicifolius*, *B. verbascifolia*, *P. reticulata*, *T. aurea*, *T. vulgaris* e *V. thyrsoidea* são consideradas regulares. As demais espécies, *A. dasycarpum*, *A. fraxinifolium*, *B. virgilioides*, *C. brasiliense*, *C. langsdorffii*, *E. pubescens*, *H. stigonocarpa*, *K. coriacea*, *P. ramiflora*, *Q. grandiflora* e *Q. parviflora* não devem ser utilizadas para produção de papel.

Ao relacionar os 4 índices analisados a espécie *T. guianensis* foi a que apresentou maior potencial para a produção do papel, por apresentar valores favoráveis para 3 dos 4 índices avaliados. Embora não tenha alcançado o valor estipulado para índice de enfiletramento, este ficou próximo do valor recomendado por Foelkel e Barrichelo (1975). Apenas a espécie *Cedrela fissilis* atendeu as exigências dos índices calculados por Benites et al. (2015) no estudo com 8 espécies florestais do Cerrado.

As espécies *T. aurea* e *V. thyrsoidea* apresentaram valores satisfatórios para o índice de Runkel (sendo consideradas regulares) e enfiletramento, mostrando assim maior

potencial para produção de papel quando comparada as demais espécies que não atingiram esse patamar. Da mesma forma, as espécies *S. versicolor* e *T. subvelutina* também demonstraram um certo potencial para este fim, por apresentarem valores recomendados pelos autores para o índice de Runkel (sendo consideradas boas) e enfeltramento. No entanto, de acordo com Benites et al. (2015), apenas o estudo anatômico das fibras não é suficiente para a determinação do potencial de espécies para a produção de papel, sendo necessários outros estudos, principalmente, os relacionados com as características químicas da madeira.

De acordo com a classificação de Nahuz (1974) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1989), as espécies *A. dasycarpum*, *A. tomentosum*, *A. fraxinifolium*, *B. salicifolius*, *B. virgilioides*, *B. verbascifolia*, *C. brasiliense*, *C. langsdorffii*, *E. pubescens*, *H. stigonocarpa*, *K. coriacea*, *M. cuspidata*, *P. reticulata*, *P. ramiflora*, *Q. grandiflora*, *Q. parviflora*, *T. subvelutina* e *T. vulgaris* apresentam potencial para serem utilizadas na construção civil pesada interna e assoalhos domésticos. Já as espécies *S. versicolor*, *T. aurea*, *T. guianensis* e *V. thyrsoidea* foram classificadas em leve, em esquadria; leve externa e interna estrutural e leve interna, de utilidade geral, por terem apresentado as menores densidades e, portanto, apresentam potencial para estes usos. Porém, apenas o parâmetro densidade não é suficiente para a determinação do potencial de espécies para serem utilizadas na construção civil, sendo necessários outras avaliações de propriedades de resistência, rigidez, dentre outros.

## 6 Conclusões

Os resultados apresentados no presente estudo permitem concluir que:

- As caracterizações tecnológicas da madeira foram ferramentas importantes para o direcionamento de possíveis utilizações, de forma correta, das espécies e, como consequência, serão subsídios para trabalhos futuros e para o manejo florestal sustentável dos recursos florestais madeireiros, contribuindo com a diversificação das espécies exploradas e diminuição da pressão sobre aquelas que estão em risco de extinção.

- Devido à falta de trabalhos de caracterização anatômica de espécies do Cerrado, a descrição macro e microscópica servirá como base para trabalhos posteriores e, também, para auxiliar na identificação destas espécies.

- A técnica de densitometria de raios X se mostrou eficiente, porque através da obtenção dos perfis densitométricos foi possível associar a densidade às demais análises, anatômicas e energéticas, contribuindo com a elaboração dos resultados encontrados.

- Com base na densidade aparente 54,5% das espécies foram classificadas como densidades de classe 2 e a menor parte delas (27,2% e 18,1%) foram classificadas como de classe 1 e 3, respectivamente.

- As espécies apresentaram modelos de variação radial crescente ou estável da densidade aparente no sentido medula-casca.

- As espécies apresentaram modelos comuns de variação radial para o comprimento das fibras, espessura da parede das fibras, frequência dos vasos, diâmetro dos vasos e área ocupada por vasos com tendência de aumento destes valores no sentido medula-casca, enquanto que a largura e diâmetro das mesmas não indicaram modelos de variação comum entre as espécies.

- A espessura da parede celular das fibras, comprimento das fibras e diâmetro dos vasos foram as variáveis que apresentaram correlações com a densidade aparente média das espécies do Cerrado, sendo elas selecionadas para compor o modelo de regressão.

- De acordo com a caracterização energética, as espécies *H. stigonocarpa*, *C. langsdorffii* e *Q. grandiflora* apresentaram potencial energético podendo ser utilizadas na produção de carvão vegetal.

- A avaliação de outros parâmetros como propriedades de resistência, rigidez e caracterização química da madeira, concomitante com os utilizados neste estudo, são necessários para a destinação de forma mais adequada das espécies estudadas e, sobretudo, para subsidiar o manejo florestal sustentável.

## **Referências bibliográficas**

ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. S. 1995. **De grão em grão, o Cerrado perde espaço (Cerrado - Impactos do Processo de Ocupação)**. Brasília, DF, Brasil: WWF.

ALZATE, S. B.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis x urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.68, p.87-95, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1762-64**, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8112/83**. Rio de Janeiro, 1981.

BAAS, P.; WERKER, E. E.; FAHN, A. 1983. Some ecological trends in vessel characters. **Iawa Bulletin** 4. 141-159, 1983.

BARRICHELO L. E. G.; BRITO, J. O. **Variabilidade radial da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. Instituto de Pesquisa e Estudo Florestal, Piracicaba, v. 18, p. 81-102, 1979.

BATAUS, Y. S. L.; PASTORE JÚNIOR, F.; OKINO, E. Y. A.; PASTORE, T. C. M. **Carbonização integral de frutos de palmáceas**. Brasília, DF: IBAMA, LPF, 1989. Série técnica 2. 15 p.

BENITES, P. K. R. M.; GOUVÊA, A. F. G.; CARVALHO, A. M. M. L.; SILVA, F. C. Caracterização anatômica das fibras de oito espécies florestais do Cerrado de Mato Grosso do Sul para a produção de papel. **Ciência da Madeira**, v. 6, n. 2, p. 88-93, 2015.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. Forest products and wood science. An Introduction. **Blackwell Publishing**. New York, 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Biodiversidade do Cerrado e Pantanal: áreas e ações prioritárias para conservação**. Brasília: MMA, 2007. 540 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço energético nacional**. Brasília, 2010. 59 p.

BRAZ, E. M.; FIGUEIREDO, E. O.; OLIVEIRA, M. V. N. D.; PASSOS, C. A. M. **Manejo de Precisão em Florestas Tropicais: Modelo Digital de Exploração Florestal**. Rio Branco/AC: Embrapa Acre, 2008. 2.ed.p.183.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Carvão vegetal de madeira de desbaste de *Pinus***. Circular Técnica IPEF, Piracicaba, v. 146, p. 1-12, jun. 1982.

BURGER, L. M; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991.

CARLQUIST, S. **Comparative wood anatomy: systematic ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood**. Berlin: Springer-Verlag, 436p. 1989.

- CHAGAS, M. P.; TOMAZELLO FILHO, M.; LISI, C. S. Caracterização macro e microscópica da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*, Asteraceae). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 156-158, jul. 2007.
- CHAVES, A. M. B.; VALE, A. T.; MELIDO, R. C. N.; ZOCH, V. P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus spp.* **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 9, n. 17; p. 533. 2013.
- CORADIN, V. T. R. et al. *Madeiras comerciais do Brasil: chave interativa de identificação baseada em caracteres gerais e macroscópicos*. Serviço Florestal Brasileiro, Laboratório de Produtos Florestais: Brasília, 2010. CD-ROM.
- COSTA, T. G. **Propriedades da madeira de espécies do cerrado mineiro e sua potencialidade para geração de energia**. 2011. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2011.
- COSTA, T. G.; BIANCHI, M. L.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. J. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no Cerrado para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 37-46, jan./mar. 2014.
- DENARDI, L.; MARCHIORI, J. N. C. Anatomia ecológica da madeira de *Blepharocalyx salicifolius* (H. B. K.) Berg. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 119-12, 2005.
- DOWNES, G. M.; EVANS, R.; SCHIMLECK, L. R.; FRITTS, H. C. The commercial cambium: Understanding the origin of wood property variation. In: SAVIDGE, R. A.; BARNETT, J. R.; NAPIER, R. (Ed.). **Cell and molecular biology of wood formation**. Oxford. :BIOS Sci, 2000, p. 325-336.
- DÜNISCH, O.; REISSMANN, C. B.; OLISZESKI, A. V. Variability of vessel characteristics in xylem of *Ilex paraguariensis* (mate-tree) from south Brazil. **Iawa Journal**, Leiden, v. 25, n. 4, p. 449-458, 2004.
- FAN, X.; CAO, K. F.; BECKER, P. Axial and radial variations in xylem anatomy of angiosperm and conifer trees in Yunnan, China. **IAWA Journal**, v. 30 n. 1, p. 1-13, 2009.
- FERNANDES, A. **Fitogeografia Brasileira**. Fortaleza: Multi Grafi. 1998. 340 p.
- FERREIRA, C. A. **Caracterização anatômica, secagem e carbonização da madeira de clones de *Eucalyptus* e espécies do Cerrado**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2012.

FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G. Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel. **O Papel**: São Paulo, v. 36, n. 9, p. 49-53, 1975.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Global forest resources assessment FRA 2010**. Rome: FAO, 2010. 340 p.

FUJIWARA, S. Anatomy and properties of Japanese hardwoods. II: variation of dimensions of ray cells and their relation to basic density. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 13, n. 4, p. 397-402, 1992.

GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. **Teoria da carbonização da madeira**. In: PENEDO, W. R. (Org.). *Uso da madeira para fins energéticos*. Belo Horizonte: CETEC – Centro Tecnológico de Minas Gerais, p. 27-41, 1980.

IAWA COMMITTEE. **IAWA list of microscopic features for hardwood identification**. In: WHEELER, E.A.; BAAS, P.; GASSON, P.E. (Ed.). *IAWA Bull.* Leiden, v.10, n.3, p.219-332, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário 2006**. Rio de Janeiro. 177 p. 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO- IPT. **Sistema de Informações de Madeiras Brasileiras**. São Paulo, IPT, 1989. 291 p. (Relatório nº 27.078).

ISHIGURI, F.; HIRAIWA, T.; IIZUKA, K.; YOKOTA, S.; PRIADI, D.; SUMIASRI, N.; YOSHIZAWA, J. Radial variation of anatomical characteristics in *Paraserianthes falcataria* planted in Indonesia. **Iawa Bulletin**, Leiden, v. 30, n. 3, p. 343-352, 2009.

JANKOWSKY, I. **Madeira juvenil formação e aproveitamento industrial**. IPEF, Piracicaba, 1979, 15 p. (CIRCULAR TÉCNICA, 81).

JATI, S. R.; FEARNside, P. M.; BARBOSA, R. I. Densidade da madeira de árvores em savanas do norte da Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 44, n. 1, p. 79-86, 2014.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: MacGraw-Hill. 533p. 1940.

JORGE, F; PEREIRA, H. Influência da silvicultura na qualidade da madeira. **Revista Florestal**, Lisboa, v.11, n.2, p.27-31, jul./dez.1998.

JORGE, M. F. C. T. F. **Variabilidade anatômica, física e química da madeira de *Eucalyptus globulus***. 1994. 135p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Instituto Superior de Agricultura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 1994.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. **A Conservação do Cerrado Brasileiro**. Belo Horizonte: Megadiversidade, 2005. p. 147-155, v. 1, n.1.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTE, W. A. **Principles of Wood Science and Technology: Solid wood**. Springer-Verlag. 1968. 592p.

LAUSBERG, M. J. F.; GILCHRIST, K. F.; SKIPWITH, J. H. Wood properties of *Eucalyptus nitens* grown in New Zealand. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Roturua, v.25, n.2, p.147-163, 1995.

LIMA, C. S. A. **Desenvolvimento de um modelo para manejo sustentado do Cerrado**. 1997. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 1997.

LIMA, I. L.; ZANON, B. R.; LONGUI, E. L.; FLORSHEIM, S. M. B. Variação radial da densidade básica e dimensões celulares de *Croton floribundus*. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 3, p. 663-670, 2010.

LIMA, I. L.; LONGUI, E. L.; GARCIA, M. F.; ZANATTO, A. C. S.; FREITAS, M. L. M.; FLORSHEIM, S. M. B. Variação radial da densidade básica e dimensões celulares da madeira de *Cariniana legalis* (Mart.) O. Kuntze em função da procedência. **Revista Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 517-524, 2011.

LOBÃO, M. S.; CHAGAS, M. P.; COSTA, D. S. P.; FERREIRA, A. T. B.; SETTE JR, C. R.; CARVALHO, I. L.; TOMAZELLO FILHO, M. Agrupamento de espécies florestais pela similaridade das características físico-anatômicas e usos da madeira. **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 97-105, 2010.

LOBÃO, M. S.; CASTRO, V. R.; RANGEL, A.; SARTO, C.; TOMAZELLO FILHO, M.; SILVA JÚNIOR, F. G.; CAMARGO NETO, L.; BERMUDEZ, M. A. R. C. Agrupamento de espécies florestais por análises univariadas e multivariadas das características anatômica, física e química das suas madeiras. **Scientia Forestalis**: Piracicaba, v. 39, n. 92, p.469-477, 2011.

LOBÃO, M. S. **Dendrocronologia, fenologia, atividade cambial e qualidade do lenho de árvores de *Cedrela odorata* L., *Cedrela fissilis* Vell. e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Hub. ex Ducke, no estado do Acre, Brasil.** 2011. 215 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LOBÃO, M. S.; COSTA, D. P.; ALMONACID, M. A. A.; TOMAZELLO FILHO, M. Qualidade do Lenho de árvores de *Schizolobium parahyba* VAR. *amazonicum*, Acre, Brasil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 3, p.374-384, jul./set., 2012.

LONGUI, E. L.; LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S. M. B.; BUFOLO, A. Variação anatômica radial do lenho de açoitacavallo (*Luehea divaricata*) e sua influência na densidade aparente. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 21, n. 2, p. 181-190, 2009.

LONGUI, E. L.; ROMEIRO, D.; SILVA, M. T.; RIBEIRO, A.; GOUVEIA, T. C.; LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S. M. B. Caracterização do lenho e variação radial de *Pittosporum undulatum* Vent. (Pau-incenso). **Hoehnea**, São Paulo, v. 38 n. 1, p. 37-50, 2011.

LONGUI, E. L.; LIMA, I. L. FLORSHEIM, S. M. B.; MELO, A. C. G.; ROMEIRO, D.; SUCKOW, I. M. S.; TESTONI, L. N. Estrutura do lenho de *Plathymenia reticulata* e algumas implicações na eficiência hidráulica e resistência mecânica. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 335 - 346, abr./jun. 2012.

MARCATI, C. R.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V.; BENETATI, L. Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinioideae) de floresta e cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 311-320, set. 2001.

MEDEIROS NETO, P. N.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; ALMEIDA, A. M. C.; PIMENTA, A. S.; CARNEIRO, A. C. O. Características físico-químicas e energéticas de duas espécies de ocorrência no semiárido brasileiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 579-588, jul./set., 2012.

MELO JÚNIOR, J. C. F.; CECCANTINI, G.; BONA, C. Anatomia ecológica do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae) distribuída em diferentes condições edáficas do cerrado sul-brasileiro. **Iheringia**, Porto Alegre, v. 66, n. 2, p. 189-200, 2011.

MELO, L. E. L.; SILVA, C. J.; URBINATI, C. V.; SANTOS, I. S.; SOARES, W. F. variação anatômica no lenho de *Astronium lecointei* Ducke. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 1, p. 135-142, 2013.

- MIRANDA, M. C.; CASTELO, P. A. R. Avaliações anatômicas das fibras da madeira de *Parkia gigantocarpa* DUCKE. **Ciência da Madeira**, v. 3, n. 2, p. 81-88, 2012.
- MEYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, n. 6701, p. 853-858, 2000.
- MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 1999. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MOURA, M. J.; FIGUEIREDO, M. M. Estudos de variabilidade numa árvore de *Eucalyptus globulus*. **O Papel**: São Paulo, v. 63, n. 6, p.71-79, 2002.
- NAHUZ, M. A. R. **Some aspects of the introduction of lesser-known brazilian species of the european timber market**. Bangor, 1974. 244 p. (M. Sc. University College of North Wales).
- NEVES, T. A. **Qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* cultivados no sul de Minas Gerais**. 2012. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2012.
- NICHOLLS, J. W. P.; GRIFFIN, A. R. Variation in wood characteristics in field trial of *Eucalyptus obliqua*, *E. regans* and some intermediate forms. **Australian Forestry Research**: Australia, n.8, p.93-102, 1978.
- NICHOLLS, J. W. P.; MATHESON, A. C. Variation in wood characteristics in thinning from field trial of *Eucalyptus obliqua*. **Australian Forestry Research**, Austrália, n.10, p.239-247, 1980.
- NISGOSKI, I.; TRIANOSKI, R.; MUÑIZ, G. I. B.; MATOS, J. L. M.; STYGAR, M. Variação Radial das Estruturas da Madeira de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. **Floresta e Ambiente**: Rio de Janeiro, v. 19 n. 3, p. 316-324, jul./set. 2012.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422p.

NOBRE, J. R. C. **Produção e qualidade do carvão ativado de resíduos madeireiros de espécies do estado do Pará**. 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2013.

OLIVEIRA, A. D.; LEITE, A. P.; BOTELHO, S. A.; SCOLFORO, J. R. S. Avaliação econômica da vegetação de Cerrado submetida a diferentes regimes de manejo e de povoamentos de eucalipto plantado em monocultivo. **Cerne**, Lavras, v.4, n.1, p.34-56, 1998.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semiárido nordestino**. 2003. 122 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, E.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; DELLA LUCIA, R. M.; LADEIRA, A. M. M.; CARNEIRO, A. C. O.; Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 311-318, 2006.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. São Paulo, 1997. 429 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997.

PÁDUA, F. A. **Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. 2009. 99 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PAES, J. B.; LIMA, C. R.; OLIVEIRA, E.; SANTOS, H. C. M. Rendimento e caracterização do carvão vegetal de três espécies de ocorrência no semiárido brasileiro. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 03, n. 1, p. 01-10, 2012.

PAES, J. B.; LIMA, C. R.; OLIVEIRA, E.; MEDEIROS NETO, P. N. Características físico-química, energética e dimensões das fibras de três espécies florestais do semiárido brasileiro. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 550-555, 2013.

PAULA, J. E.; ALVES, J. L. H. **Madeiras nativas: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso**. Brasília: MOA, 1997. 543 p.

PAULA, J. E. Caracterização anatômica de madeiras nativas do Cerrado com vistas à produção de energia. **Cerne**, v. 5, p. 26-40, 1999.

PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies da Amazônia com vistas à produção de energia e papel. **Acta Amazonica**, v. 33, n. 2, p. 243-262, 2003.

PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do Cerrado, visando sua utilização na produção de energia. **Cerne**, Brasília, vol. 11, n. 1, p. 90-100, 2005.

PINHEIRO, P. C. C.; SAMPAIO, R. S.; REZENDE, M. E. A. **A produção de carvão vegetal: teoria e prática**. 2ª ed. Belo Horizonte: O Autor, 2008. 120 p.

PINHO, G. S. C. **Efeito de diferentes métodos de corte de cipós na condução do manejo florestal visando à produção sustentada de madeira industrial, na floresta nacional do Tapajós/PA**. 2003. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília. 2003.

PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; NEVES, T. A.; VIEIRA, C. M. M. Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 317-326, 2012.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F.; GODINHO, T. P. Potencial siderúrgico e energético do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. aos 42 meses de idade. **Pesquisa Florestal Brasileira**: Colombo, v. 33, n. 74, p. 137-149, 2013.

RAO, R. V.; AEBISCHER, D. P.; DENNE, P. Latewood density in relation to wood fibre diameter, wall thickness, and fibre and vessel percentages in *Quercus robur* **IAWA Journal**, Utrecht. v. 18, n.2 p. 127-138. 1997.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. **Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas**. *Edinb. J. Bot.* 60(1):57-109. 2003.

REDE DE SEMENTES DO CERRADO. **Relatório final do projeto Semeando o Bioma Cerrado**. Petrobrás Ambiental. 345p. 2012.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E. Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos de Cerrado. **Boletim eletrônico da EMBRAPA**. Doc 195, 2007. 30p.

RESENDE, M.; KER, J. C.; BAHIA FILHO, A. F. C. Desenvolvimento sustentado do Cerrado. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F. V.; FONTES, M. P. F. (Eds.). **Os**

**solos nos grandes domínios morfo-climáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** Viçosa: SBCS; UFV, 1996. p. 169-199.

REZENDE, M. A.; ESCOBEDO, J. F. FERRAZ, E. S. B. Retratibilidade volumétrica e densidade aparente da madeira em função da umidade. IPEF, Piracicaba, n. 39, p. 33-40, ago. 1988.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomia do bioma Cerrado.** In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. Cerrado: ambiente e flora. Planaltina: EMBRAPA/CPAC, 1998. p.87-166.

ROCHA, C. B. R.; POTIGUARA, R. C. V. Morfometria das fibras das folhas de *Astrocaryum murumuru* var. *murumuru* Mart. (ARECACEAE). **Acta Amazônica**, v. 37, p. 511-516, 2007.

ROQUE, R. M.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da estrutura anatômica do lenho de árvores de *Gmelina arborea* em diferentes condições de clima e de manejo na Costa Rica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 273-285, set. 2009.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE da Ilha de Lores, Indonésia.** 1998. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto.** 2010. 159 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira)- Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2010.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User’s Guide:** version 6.08. Carrey, v.2. 1997. 846p.

SCHMIDHEINY, S. **Mudando o rumo – uma perspectiva empresarial global sobre desenvolvimento e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas. 1992. 368 p.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Florestas do Brasil em resumo - 2010: dados de 2005-2010.** Brasília: SFB, 2010. 152 p.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Manejo Florestal**. Disponível em:<  
<http://www.florestal.gov.br/pngf/manejo-florestal/apresentacao>>. Acesso em  
22/01/2016.

SETTE JR., C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; LOUSADA, J. L.; LACLAU, J. P. Efeito da aplicação de fertilização nitrogenada e lodo de esgoto nas características da madeira juvenil de árvores de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 3, p. 303-312, jul./set. 2009.

SCHULZE, M.; VIDAL, E.; GROGAN, J.; ZWEEDE, J.; ZARIM, D. Madeiras nobres em perigo. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 36, n. 214, p. 66-69, 2005.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT J. R.; MATOS, J. L. M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Floresta**, Paraná, v.34, n.1, p.13-22, jan./abr. 2004.

SJÖSTRÖM E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**. 2nd ed. New York: Academic Press. 1993. 293 p.

SONSIN, J.; GASSON, P. E.; BARROS, C. F.; MARCATI, C. R. A Comparison of the wood anatomy of 11 species from two Cerrado habitats (Cerrado s.s. and adjacent gallery forest). **Botanical Journal of the Linnean Society**, Londres, v. 170, p. 257–276, 2012.

SONSIN, J. O.; GASSON, P.; MACHADO, S. R.; CAUM, C. MARCATI, C. R. **Atlas da diversidade de madeiras do cerrado paulista**. Botucatu: FEPAF, 2014. 423 p.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P. C.; LISI, C. S. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H.; LESJAK; BARRELA, W. (Org.) **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC, p. 117-144, 1999.

TOMAZELLO FILHO, M. **Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica, da madeira de *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenoides***. IPEF, Piracicaba, v. 36, p. 35-42, 1987.

TOMAZELLO FILHO, M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla***. 2006. p.135. Tese (Livre-

Docência). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

TOMAZELLO FILHO, M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M. P.; OLIVEIRA, T. S.; BALLARIN, A. W.; BENJAMIN, C. A. Application of x-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, Concepción, v. 10, n. 2, p. 139-149, 2008.

TOMAZELLO FILHO, M.; CURY, G. Descrição anatômica de espécies de madeira utilizadas na construção civil. *Floresta e Ambiente*, Rio de Janeiro, v. 18, n. 3, p. 227-236, 2011.

TRUGILHO, P. F.; VITAL, B. R.; REGAZZI, A. J.; GOMIDE, J. L. Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de carvão vegetal. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 259-267, 1997.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do Cerrado. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.

VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S.; DANTAS, V. F. S. POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA E CARVÃO VEGETAL DO EPICARPO 267 E DA TORTA DE PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas*). *Cerne*, Lavras, v. 17, n. 2, p. 267-273, 2011.

VIEIRA, A. C.; SOUZA, S. N. M.; BARICCATTI, R. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. *Scientia Agrárias*, v. 3, n. 1, p. 51-57, 2013.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: SIF. 21 p. 1984.

VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. *Revista Árvore*, v. 10, n. 2, p. 151-160, 1986.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Effect of tree spacing on Wood production and Wood quality of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* at 52 months. *Revista Árvore*, Viçosa, v.11, p.132-145, 1987.

VOIGT, A. R. A.; SOFFIATTI, P.; TOMAZELLO FILHO, M.; LISI, C. S.; BOEGER, M. R. T. Anatomia comparada do lenho de *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) em fitofisionomias de cerrado e cerrado *sensu stricto*. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 61, n. 4, p. 603-613, 2010.

WILKES J. Variations of wood anatomy within species of *Eucalyptus*. **IAWA Bulletin** v. 9, p. 13-23, 1988.

WIMMER, R.; DOWNES G. M.; EVANS, R. Temporal variation of microfibril angle in *Eucalyptus nitens* grown in different irrigation regimes. **Tree Physiology**, Canada, v.22, n.7, p. 449-457, 2002.

YI-QUING, W.; KAZUO, H.; YUAN, L.; YINGCHUN, C.; MASATOSHI, S. Relationships of anatomical characteristics versus shrinkage and collapse properties in plantation-grown eucalypt wood from China. **Journal of Wood Science**, Madison, v. 52, n. 3, p. 187-194, 2006.

ZOBEL, B. **Silvicultural effects on wood properties**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, v. 2, n. 6, p. 31-38, jul. 1992.