

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CLÁUDIO MANUEL ISMAEL AFONSO

**USO DA ANTRACOLOGIA COMO INSTRUMENTO DE
FISCALIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL EM MOÇAMBIQUE**



Curitiba

2012

CLÁUDIO MANUEL ISMAEL AFONSO

USO DA ANTRACOLOGIA COMO INSTRUMENTO DE
FISCALIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL EM MOÇAMBIQUE

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Jorge L. M. de Matos

Co-orientadoras: Profa. Dra. Graciela I. B. Muñiz
Profa. Dra. Silvana Nisgoski

Curitiba

2012

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Afonso, Cláudio Manuel Ismael

Uso da antracologia como instrumento de fiscalização do carvão vegetal em Moçambique / Cláudio Manuel Ismael Afonso. – 2012

68 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Jorge L. M. de Matos

Coorientadores: Profa. Dra. Graciela I. B. Muñiz

Profa. Dra. Silvana Nisgoski

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 14/12/2012.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Carvão vegetal. 2. Árvores - Moçambique. 3. Exploração florestal - Moçambique. 4. Teses. I. Matos, Jorge L. M. de. II. Muñiz, Graciela I. B. III. Nisgoski, Silvana. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 662.74

CDU – 634.0.867.5



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

ATA SESSÃO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Defesa nº. 950

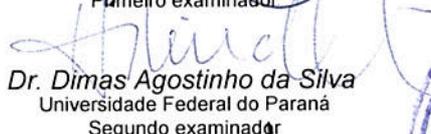
Ata da Sessão Pública, de exame de dissertação
para obtenção do grau de **mestre** em Engenharia
Florestal, área de concentração em **TECNOLOGIA E
UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**

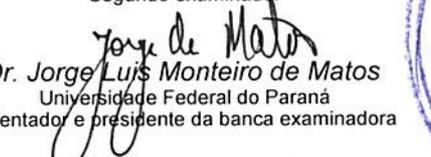
Ao(s) quatorze dia(s) do mês de dezembro de dois mil e doze, às oito horas e trinta minutos, nas dependências do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, reuniu-se a banca examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, composta pelo Dr. Martha Andréia Brand, primeiro examinador, pelo Dr. Dimas Agostinho da Silva, segundo examinador, e pelo Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos, orientador e presidente da banca examinadora, com a finalidade de julgar a dissertação do(a) candidato(a) Claudio Manuel Ismael Afonso, intitulada "**USO DA ANTRACOLOGIA COMO INSTRUMENTO DE FISCALIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL EM MOÇAMBIQUE**", para obtenção do grau de mestre em Engenharia Florestal. O desenvolvimento dos trabalhos seguiu o roteiro de sessão de defesa estabelecido pela coordenação do curso, com abertura, condução e encerramento da sessão solene de defesa feitos pelo orientador Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos. Após haver analisado o referido trabalho e argüido o(a) candidato(a), os membros da banca examinadora deliberaram pela "**APROVAÇÃO**" do(a) acadêmico(a), habilitando-o ao título de Mestre em Engenharia Florestal, na área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**. Curitiba, 14 de dezembro de 2012, desde que apresente a versão definitiva da dissertação conforme regimento interno do programa.

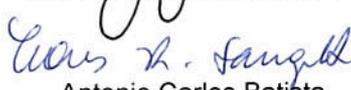

Reinaldo Mendes de Souza

Secretário do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal


Dr. Martha Andréia Brand
Universidade do Estado de Santa Catarina
Primeiro examinador


Dr. Dimas Agostinho da Silva
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador


Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora


Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Carlos Roberto Sanquetta
Vice-coordenador do curso



Aos meus pais: Amanibo Ismael e Quintino Afonso (*in memoriam*),
Ao meu irmão, Hélder Danilo Ismael Afonso.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Programa Internacional de Bolsas de Estudo da Fundação Ford por ter financiado os meus estudos de mestrado.

Ao Governo de Moçambique pelo incentivo na continuação dos meus estudos.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná por ter aceitado o meu projeto de mestrado e pela oportunidade de realização do presente trabalho.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos, Profa. Dra. Graciela Inés Bolzon Muñiz e Profa. Dra. Silvana Nisgoski por terem me inserido no meio acadêmico e pela valiosa orientação rumo ao projeto que hoje se tornou realidade.

À Thaís A. P. Gonçalves pelo apoio incondicional em todas as etapas da realização deste trabalho. Agradeço ainda pela calorosa amizade e pela hospitalidade que fizeram com que estando no Brasil eu me sentisse em Moçambique.

Ao meu grande amigo Ernesto Uetimane Junior por ter contribuído para o aprimoramento deste trabalho através das valiosas sugestões e pontos de vista.

À Dra. Célia Maria Rodrigues Diniz por ter estado sempre presente nos momentos de preparação e envio do meu projeto de mestrado.

Ao Diretor Provincial de Agricultura de Cabo Delgado, Eng. Mariano Caetano Jone, por ter entendido a pertinência da minha formação e por ter envidado esforços no processo de autorização para a continuação dos meus estudos.

Aos meus colegas de turma Elaine Lengowski, Carolina Griebeler, Rafael Braz, Karine Bellon, Vinicius Carlos, Jose Henrique Ferreira e Felipe Mazon César pela amizade e apoio prestado durante o curso.

Ao Senhor Jair Rodrigues por permitir de forma incondicional o dimensionamento dos corpos de prova em sua serraria.

Aos colegas Adriano Fiorese, Ramiro França e Felipe Lazzarotto pelo apoio na coleta de dados no Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira da UFPR.

Ao meu amigo e camarada Cláudio Cuaranha por ter me recebido e me inserido no ambiente social em Curitiba.

Aos meus amigos Brasileiros e companheiros de muitas batalhas Maciel Batista Paulino e Walmes Zeviane pela convivência e apoio mútuo durante a minha estadia em Curitiba.

Aos meus compatriotas Ruben Taibo, Teresa Nube, Nocy Bila, Aires Banze, Anabela Fernandes, Rosalina Chavana, Narciso Bila, Estevão Chambule, Reinaldo Guina, Joelma e Luiz Buchir pelo companheirismo.

Ao meu irmão Hélder Danilo Ismael Afonso, à minha cunhada Saquinat Raimo Gafur Khane, meus sobrinhos Afonso Hélder Quintino, Meizel Carimo Quintino e Shaiza Amanibo Raimo Quintino, por torcerem pelo meu sucesso acadêmico.

À minha namorada Daniela Amone, pelo amor, carinho e suporte emocional prestado desde o primeiro contato que tivemos e principalmente durante a minha estadia no Brasil.

Estes agradecimentos são extensivos a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização deste trabalho.

*“Os adolescentes cansam-se e fartam-se,
Os rapazes vacilam;
Mas os que se entregam ao Eterno, renovam a sua força;
Voam como águias.”*

Isaias 40:31

“Meu povo de África, fomos criados à imagem de Deus, mas fizeram-nos acreditar que não éramos senão galinhas. SOMOS ÁGUIAS. Águias, abram as vossas asas e lancem-se no voo. Estas palavras são de um negro, Chitlango! Olhemos a direito para o SOL. Não um deus qualquer, mas o Deus de JESUS CRISTO! Deus abençoe a África! Sou teu antigo professor. Teu no Senhor.”

PAULINO

RESUMO

Moçambique possui uma grande diversidade de recursos florestais. Estes recursos afiguram-se importantes no contexto econômico, social e ambiental por apresentarem potencial para a geração de emprego, fornecimento de energia, sequestro de carbono, entre outros bens e serviços. A maior parte do combustível lenhoso provém das florestas naturais e cerca de 85% da população moçambicana depende destes combustíveis para satisfazer suas necessidades energéticas domésticas. Atualmente, tem se constatado que os carvoeiros usam espécies de alto valor comercial para a produção de carvão vegetal sem a observância de técnicas de manejo sustentável. Para além da pressão dos carvoeiros, estas espécies também são exploradas por operadores de madeira, o que concorre para sua extinção. Perante este cenário, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar a anatomia do carvão de nove espécies nativas de Moçambique de alto valor comercial de modo a melhorar sua fiscalização, e também estudar a qualidade do carvão vegetal das mesmas espécies de alto valor comercial no mercado internacional. Para este estudo, amostras de *Dalbergia melanoxylon*, *Azelia quanzensis*, *Combretum imberbe*, *Khaya nyasica*, *Amblygonocarpus andongensis*, *Guibourtia conjugata*, *Pterocarpus angolensis*, *Millettia stuhlmannii* e *Swartzia madagascariensis* foram carbonizadas a 450°C durante 1h. A descrição das características anatômicas foi feita com base nos procedimentos que constam nas normas do IAWA COMMITTEE (1989). O material volátil, cinzas, carbono fixo e poder calorífico foram determinados de acordo com as normas ABNT NBR 8112 e NBR 8633. A introdução das técnicas da antracologia nos sistemas de fiscalização florestal pode facilitar a identificação das espécies utilizadas para produzir o carvão vegetal. Aqui também mostra-se que a exploração de madeiras nobres para efeitos de energia constitui um grande desperdício, pois o carvão destas espécies apresentam valores de poder calorífico equivalentes aos das espécies pertencentes às classes comerciais inferiores. Concluiu-se que a implementação destes conhecimentos pode contribuir para a preservação da biodiversidade e sustentabilidade das florestas naturais. Importante referir que quanto mais características anatômicas forem analisadas, mais facilmente se pode identificar o gênero ou mesmo a espécie.

Palavras chave: Antracologia, Qualidade de carvão vegetal, Poder calorífico, Espécies nativas de Moçambique

ABSTRACT

Mozambique has a great diversity of forest resources. These resources become especially important in economic, social and environmental contexts due to their potential to create employment, energy supplies, and as carbon sink including other services. A great proportion of the charcoal produced in Mozambique comes from natural forests, and nearly 85% of the Mozambican population relies on fuel produced from wood to satisfy their domestic energy needs. The woody biomass is one of the main elements of the energy matrix of Mozambique. About 85% of the population depends on this fuel to meet their energy needs. Most of the charcoal produced commercially is from natural forest. Currently, it has been found the use of high-value species for commercial production of charcoal without the observance of sustainable techniques. In addition to the pressure placed upon the resource by charcoal producers, these species are also tapped by wood merchants, contributing to its overall extinction. Against this scenario, this paper aims to characterize the anatomy of the charcoal from nine species of high commercial value and native to Mozambique, in order to improve its monitoring. Moreover, we studied the quality of charcoal of nine different species of high commercial value in the international market. For this purpose, samples of *Dalbergia melanoxylon*, *Azelia quanzensis*, *Combretum imberbe*, *Khaya nyasica*, *Amblygonocarpus andongensis*, *Guibourtia conjugate*, *Pterocarpus angolensis*, *Millettia stuhlmannii*, and *Swartzia madagascariensis* were carbonized at 450° C for 1h. A description of anatomical features was based on procedures contained in the rules of IAWA COMMITTEE (1989). The volatile material, ash, fixed carbon and calorific value were determined according to ABNT NBR 8112 and NBR 8633. The introduction of the anthracology techniques in forest monitoring systems can facilitate the identification of the species used to produce charcoal. Here we also demonstrate that the exploration of valuable wood for the purposes of energy use constitutes a great waste, as the charcoal made from these species has calorific value equivalent to those species belonging to low commercial classes. The implementation of this knowledge can contribute to biodiversity conservation and sustainability of natural forests. Important to note that the more anatomical features are analyzed more easily it can identify the same genus or species

Key words: Anthracology, Quality of Charcoal, Calorific value, Native species of Mozambique.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - TENDÊNCIA MUNDIAL DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL.....	4
FIGURA 2 – OS DEZ PRINCIPAIS PRODUTORES MUNDIAIS DE CARVÃO VEGETAL.	5
FIGURA 3 – COBERTURA DE TERRA EM MOÇAMBIQUE.	7
FIGURA 4 – OCORRÊNCIA NATURAL DE <i>Dalbergia melanoxylon</i>	10
FIGURA 5 – OCORRÊNCIA NATURAL DE <i>Guibourtia conjugata</i>	12
FIGURA 6 – OCORRÊNCIA NATURAL DE <i>Pterocarpus angolensis</i>	13
FIGURA 7 – OCORRÊNCIA NATURAL DE <i>Millettia stuhlmannii</i>	15
FIGURA 8 – OCORRÊNCIA NATURAL DE <i>Azelia quanzensis</i>	16
FIGURA 9 – OCORRÊNCIA NATURAL DE <i>Combretum imberbe</i>	18
FIGURA 10 – OCORRÊNCIA NATURAL DE <i>Khaya nyasica</i>	19
FIGURA 11 – OCORRÊNCIA NATURAL DE <i>Swartzia madagascariensis</i>	21
FIGURA 12 – OCORRÊNCIA NATURAL DE <i>Amblygonocarpus andogensis</i>	22
FIGURA 13 – MODELO DE CARBONIZAÇÃO DE KANURY E BLACKSHEAR.	27
FIGURA 14 – INTERAÇÃO ENTRE O CONTEÚDO DE UMIDADE DA MADEIRA E SEU PODER CALORÍFICO LÍQUIDO.	30
FIGURA 15 – ABSORÇÃO E PERDA DE UMIDADE DE CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A 400°C, EM FUNÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR A PARTIR DA MADEIRA DE <i>Liriodendron tulipifera</i> L.	30
FIGURA 16 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS.	34
FIGURA 17 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL E LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE <i>Khaya nyasica</i> . ESCALA: 100µM.	38
FIGURA 18 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL, LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE <i>Guibourtia conjugata</i> . ESCALA: 100µM.	39
FIGURA 19 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL, LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE <i>Combretum imberbe</i> . ESCALA: 100µM.	40
FIGURA 20 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL E LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE <i>Azelia quanzensis</i> . ESCALA: 100µM.	41
FIGURA 21 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL E LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE <i>Dalbergia melanoxylon</i> . ESCALA: 100µM.	42
FIGURA 22 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL E LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE <i>Millettia stuhlmannii</i> . ESCALA: 100µM.	43
FIGURA 23 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL E LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE <i>Amblygonocarpus andogensis</i> . ESCALA: 100µM.	44

FIGURA 24 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL E LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE <i>Pterocarpus angolensis</i>. ESCALA: 100µM.....	45
FIGURA 25 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL E LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE <i>Swartzia madagascariensis</i>. ESCALA: 100µM.	46
FIGURA 26 – PLANO DE CORTE TRANSVERSAL DE MADEIRA CARBONIZADA A 450°C. A – <i>Azelia quanzensis</i>, B – <i>Guibourtia conjugata</i>, C – <i>Amblygonocarpus andogensis</i>, D – <i>Dalbergia melanoxylon</i>, E – <i>Swartzia madagascariensis</i>, F – <i>Pterocarpus angolensis</i>, G – <i>Millettia stuhlmannii</i>, H – <i>KHAYA NYASICA</i>, I – <i>Combretum imberbe</i>.	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ÁREAS COBERTAS POR FLORESTAS EM MOÇAMBIQUE (1000 HA).....	7
TABELA 2 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE <i>Dalbergia melanoxylon</i>	11
TABELA 3 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE <i>Guibourtia conjugata</i>	12
TABELA 4 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE <i>Pterocarpus angolensis</i>	14
TABELA 5 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE <i>Millettia stuhlmannii</i>	15
TABELA 6 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE <i>Afzelia quanzensis</i>	17
TABELA 7 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE <i>Combretum imberbe</i>	18
TABELA 8 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE <i>Khaya nyasica</i>	20
TABELA 9 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE <i>Swartzia madagascariensis</i>	21
TABELA 10 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE <i>Amblygonocarpus andongensis</i> ..	23
TABELA 11 – PROVENIÊNCIA DAS AMOSTRAS.....	33
TABELA 12 – LISTA DAS ESPÉCIES EM ESTUDO.....	35
TABELA 13 – RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS QUALITATIVAS DO CARVÃO DE NOVE ESPÉCIES.....	47
TABELA 14 – RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS QUANTITATIVAS DO CARVÃO DE NOVE ESPÉCIES.	49
TABELA 15 – PERDA DE MASSA DAS AMOSTRAS DEVIDO A CARBONIZAÇÃO DURANTE UMA HORA.	51
TABELA 16 – PROPRIEDADES DO CARVÃO VEGETAL.....	54
TABELA 17 – VALORES DE PODER CALORÍFICO SUPERIOR DE DIFERENTES ESPÉCIES FLORESTAIS.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AR – Altura dos raios
CAA – Corte anual admissível
CC – Camadas de crescimento
CF – Carbono fixo
DTV – Diâmetro tangencial dos vasos
EE – Estrutura estratificada
FR – Frequência dos raios
FV – frequência dos vasos
IAWA – *International Association of Wood Anatomists*
IM – Inclusão de minerais
LR – Largura dos raios
MEV – Microscópio eletrônico de varredura
MV – Material volátil
OD – Outros depósitos
PC – Poder calorífico
PCI – Poder calorífico inferior
PCS – Poder calorífico superior
PI – Pontoações intervasculares
PIB – Produto interno bruto
PP – Placas de perfuração
SR – Seriação dos raios
TC – Teor de cinzas
TR – tipo de raios

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Generalidades	4
3.2 Contexto ambiental, econômico e social das florestas moçambicanas	6
3.3 Descrição e principais usos das espécies em estudo	9
3.4 Fiscalização dos produtos florestais em Moçambique	23
3.5 Antracologia	25
3.6 Carbonização e comportamento da estrutura anatômica do lenho	26
3.7 Propriedades do carvão vegetal	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
4.1 Área de estudo	33
4.2 Material de estudo	35
4.3 Carbonização da madeira e avaliação das características anatômicas do carvão	35
4.4 Avaliação das propriedades do carvão	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1 Anatomia do carvão de nove espécies arbóreas	37
5.1.1 <i>Khaya nyasica</i> Staff ex Baker F.....	38
5.1.2 <i>Guibourtia conjugata</i> (Bolle) J. Léonard.....	39
5.1.3 <i>Combretum imberbe</i> Wawra	39
5.1.4 <i>Azelia quanzensis</i> Welw.	40
5.1.5 <i>Dalbergia melanoxylon</i> Guil. & Perr	41
5.1.6 <i>Millettia stuhlmannii</i> Taub.	42
5.1.7 <i>Amblygonocarpus andongensis</i> (Wew. ex Oliv.) Exell & Torre	43
5.1.8 <i>Pterocarpus angolensis</i> DC	44
5.1.9 <i>Swartzia madagascariensis</i> Desv.	45
5.2 Alterações induzidas pelo aquecimento da madeira	51
5.3 Análise das propriedades do carvão vegetal	53
6. CONCLUSÕES	59
7. RECOMENDAÇÕES	60

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS61

1. INTRODUÇÃO

Sete dos dez maiores produtores de carvão vegetal são do continente africano, nomeadamente: Nigéria, Etiópia, Moçambique, República Democrática do Congo, Tanzânia, Ghana e Egito. Brasil, Índia e China são as três exceções, no entanto, influenciam fortemente a produção de carvão nas suas regiões (STEIERER, 2011).

No caso específico dos países africanos, a urbanização e o crescimento econômico têm incrementado o uso de lenha e do carvão vegetal. Esta situação preocupa os ambientalistas e os responsáveis pela gestão dos recursos florestais (GIRARD, 2002; STEIERER, 2011).

Moçambique é um país com uma grande diversidade de florestas naturais (ALBERTO, 2006). A biomassa florestal desempenha um importante papel nas famílias pela sua dimensão ambiental, social e econômica. Cerca de 85% da população moçambicana depende do combustível lenhoso para satisfazer as suas necessidades energéticas domésticas (RIBEIRO, 2008).

A maior parte do carvão vegetal produzido para a comercialização provém das florestas naturais. Seu processo de produção é caracterizado pela ausência das técnicas de manejo sustentável de florestas, o que ameaça a perpetuação destes recursos a médio e longo prazo (BILA, 2005; ALBERTO, 2006).

Dados apresentados por STEIERER (2011) mostram que em 2010 foram explorados cerca de 11.203.998 m³ de lenha para a produção de carvão, no entanto, o corte anual admissível (CAA) das florestas moçambicanas é estimado em 2.309.300 m³ (MARZOLI, 2007).

Por outro lado, a legislação florestal vigente em Moçambique estabelece quais as espécies nativas a serem usadas para efeitos de energia. Esta medida baseia-se nos valores comerciais, científicos, de raridade e de resistência das madeiras produzidas pelas espécies florestais (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2002). Contudo, os produtores de carvão vegetal não respeitam esta disposição legal.

A atividade de fiscalização florestal é realizada principalmente nos postos fixos, instalados nos pontos estratégicos em função do fluxo dos produtos florestais. O ideal seria exercer esta atividade nas áreas de exploração, o que poderia dificultar

o corte de espécies protegidas (BILA, 2005). A estratégia de concentrar os fiscais nos postos fixos é explicada pela fraca capacidade financeira que caracteriza as instituições governamentais.

Em função desta estratégia adotada pelo governo, o conhecimento da estrutura anatômica e do potencial energético da madeira das espécies florestais nativas de Moçambique se mostra mais apropriada para o controle dos indivíduos cortados no processo de produção de carvão.

Importa referir que vários estudos mostraram que a estrutura anatômica da madeira se mantém após a carbonização (PRIOR; ALVIN, 1983; KIM; HANNA, 2006; GONÇALVES, *et al.* (2012). Contudo, são poucos os estudos desenvolvidos visando o aprofundamento do conhecimento das características do carvão resultante das espécies nativas de Moçambique. Paralelamente a esta situação, o conhecimento sobre as características anatômicas e energéticas de espécies arbóreas é muito pouco difundido em Moçambique, o que de certa forma pode contribuir para o enfraquecimento da fiscalização florestal.

Neste contexto, a caracterização do carvão das espécies protegidas visando o melhoramento do sistema de fiscalização florestal poderá contribuir para a preservação da biodiversidade, sustentabilidade das florestas bem como para a melhoria da qualidade de vida da presente e futuras gerações.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a antracologia como ferramenta de discriminação e fiscalização de carvão vegetal em Moçambique.

2.2 Objetivos específicos

- Descrever as alterações no carvão devido à influência do aquecimento em nove espécies nativas de Moçambique;
- Descrever a estrutura anatômica do carvão vegetal produzido;
- Determinar as propriedades do carvão vegetal produzido.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Generalidades

Carvão vegetal é um produto sólido, inerte, de cor negra, que resulta da combustão incompleta da madeira e que é muito usado para efeitos energéticos. Para além da sua aparência física, o carvão vegetal distingue-se da madeira pelo fato de apresentar maior conteúdo de carbono, o que contribui para que seu poder calorífico seja superior (MARTIN, 1989).

Os níveis de produção de carvão vegetal no mundo tem apresentado uma tendência crescente (FIGURA 1), e a África é claramente a região onde esta tendência é mais acentuada (STEIERER, 2011).

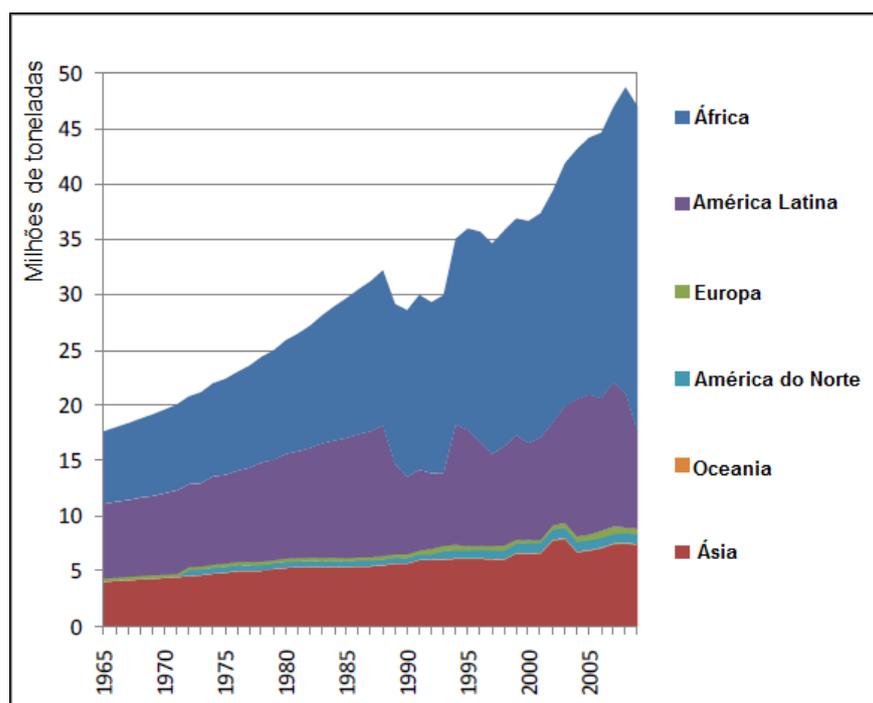


FIGURA 1 - TENDÊNCIA MUNDIAL DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL.

FONTE: STEIERER (2011), adaptado de FAO.

Segundo o mesmo autor, a produção mundial de carvão vegetal em 2009 foi estimada em 47 milhões de toneladas. Desta quantidade, Moçambique contribuiu com 4%, o que o tornou o terceiro maior produtor de carvão vegetal do mundo junto com a República Democrática do Congo, China e Índia (FIGURA 2).

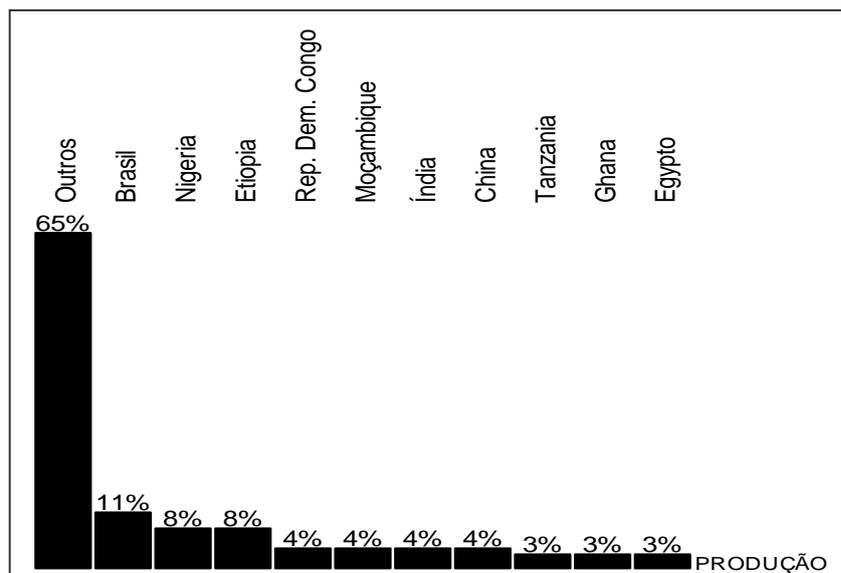


FIGURA 2 – OS DEZ PRINCIPAIS PRODUTORES MUNDIAIS DE CARVÃO VEGETAL.

FONTE: STEIERER (2011).

A maior parte do carvão vegetal produzido para a comercialização provém de florestas naturais. Seu processo de produção é caracterizado pela ausência das técnicas de manejo sustentável das florestas. Esta situação ameaça a perpetuação destes recursos a médio e longo prazo em Moçambique (BILA, 2005; ALBERTO, 2006).

A Legislação florestal vigente em Moçambique classifica as espécies nativas e produtoras de material lenhoso em cinco grupos: madeiras preciosas, de primeira, de segunda, de terceira e de quarta classes. Esta classificação tem em conta o valor comercial, científico, raridade, utilidade, resistência e qualidade das espécies (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2002). A mesma Legislação determina que para a produção comercial de carvão vegetal sejam abatidos apenas os indivíduos das espécies produtoras de madeira pertencentes à quarta classe.

AFONSO *et al.* (2009), constataram que os produtores de carvão dos distritos de Mecufi, Pemba-Metuge e Ancuabe, localizados na província de Cabo Delgado, abatem espécies como *Dalbergia melanoxylon*, *Millettia stuhlmannii*, *Pseudolachnostylis maprouneifolia*, *Brachystegia spp.*, *Julbernardia globiflora*, que são proibidas por Lei, para a produção comercial de carvão vegetal. Acredita-se que esta realidade ocorra em quase toda extensão territorial do país.

Na década de 1980, o Governo liderou o estabelecimento de plantios do gênero *Eucalyptus*. Estes plantios foram estabelecidos ao redor dos três maiores

centros urbanos de Moçambique (Maputo, Beira e Nampula) e eram destinados à produção de combustível lenhoso. O fato do custo de produção do metro cúbico de lenha de eucalipto ser superior ao preço de venda do metro cúbico da lenha proveniente da floresta nativa contribuiu para que estes plantios fossem abandonados. Por outro lado, o mercado doméstico dá preferência ao carvão de alta densidade “carvão pesado”, produzido por madeira de espécies nativas, por apresentar uma queima duradoura (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1997; SHIMIZU, 2006).

A exploração de lenha para usos comerciais de energia é efetuada principalmente para o abastecimento do mercado urbano durante todo o ano. A cadeia de produção e comercialização do carvão vegetal inclui as seguintes etapas: corte das árvores, traçamento, arrumação da lenha no forno, cobertura dos fornos, carbonização, extração, arrefecimento, transporte do carvão e sua comercialização. O carvão é produzido em fornos construídos por material local: estacas, capim e solo; e são necessários 4 a 7 dias para produzir carvão (BROUWER; FALCÃO, 2004; ALBERTO, 2006; AFONSO *et al.*, 2009).

3.2 Contexto ambiental, econômico e social das florestas moçambicanas

Moçambique é um dos países da África Austral que possui florestas naturais com altos valores econômicos, sociais e ambientais (BILA, 2005). Estima-se que 40,1 milhões de hectares, cerca de 51% do território nacional é coberto por florestas. Outras formações lenhosas, como vegetação arbustiva, matagais e florestas com agricultura itinerante, cobrem cerca de 14,7 milhões de hectares, ou seja, 19% do território nacional (FIGURA 3).

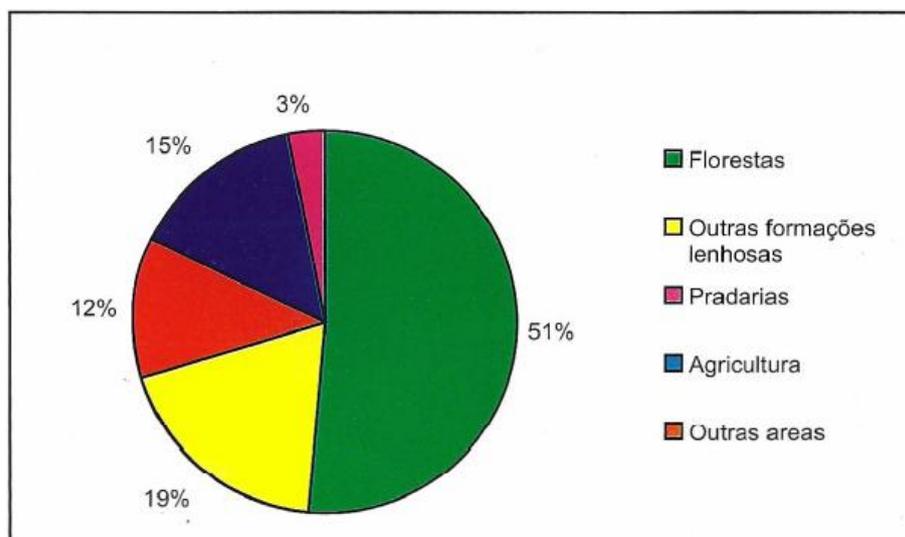


FIGURA 3 – COBERTURA DE TERRA EM MOÇAMBIQUE.

FONTE: MARZOLI (2007).

As províncias que contribuem com maiores áreas de florestas produtivas são: Niassa com 6.05 milhões de hectares, Zambézia com 4,11 milhões de hectares, Tete com 3,34 milhões de hectares e Cabo Delgado com 3,18 milhões de hectares (MARZOLI, 2007). A TABELA 1 apresenta as áreas de florestas produtivas e não produtivas por províncias.

TABELA 1 – ÁREAS COBERTAS POR FLORESTAS EM MOÇAMBIQUE (1000 ha).

PROVÍNCIA	TOTAL DE FLORESTAS (1000 ha)	FLORESTAS PRODUTIVAS (1000 há)	FLORESTAS NÃO PRODUTIVAS (1000 ha)	
			FLORESTAS DE CONSERVAÇÃO	FLORESTAS DE PROTEÇÃO
Niassa	9.429,1	6.049,9	237,5	3.141,8
Zambézia	5.063,6	4.112,5	616,1	335,0
Cabo Delgado	4.803,1	3.175,5	256,5	1.371,1
Tete	4.221,4	3.339,8	881,5	0,0
Gaza	3.778,8	2.421,9	289,1	1.067,8
Manica	3.456,0	1.951,3	269,9	1.234,8
Sofala	3.304,9	1.419,3	400,0	1.485,6
Nampula	2.771,4	2.316,8	293,1	161,5
Inhambane	2.419,3	1.437,2	912,7	69,4
Maputo	820,4	682,9	99,1	38,5
TOTAL	40.068,0	26.907,1	4.255,5	8.905,4

FONTE: MARZOLI (2007).

As florestas de conservação incluem todas as áreas localizadas em parques nacionais, reservas florestais e coutadas de caça. As florestas de proteção incluem as unidades de terra localizadas em áreas úmidas (superfícies alagadas, incluindo

os mangues) e todas as florestas localizadas em terrenos inacessíveis e acidentados (MARZOLI, 2007).

As florestas produtivas proporcionam madeira para o abastecimento das indústrias de processamento, energia, material de construção, alimentos, produtos medicinais, entre outros bens e serviços (BILA, 2005). Estima-se que 85% da população moçambicana dependem da biomassa florestal para a confecção de alimentos e aquecimento doméstico (RIBEIRO, 2008).

A DIREÇÃO NACIONAL DE FLORESTAS E FAUNA BRAVIA (1995) estimou o consumo de madeira ao ano em 16 milhões de metros cúbicos, o que corresponde a 700 milhões de dólares norte americanos. O mesmo autor refere que estes valores não são contabilizados no PIB, no entanto mostram o potencial empregador do setor florestal na zona rural . Dados apresentados por STEIERER (2011) mostram que em 2010 foram explorados 11.203.998 m³ de lenha para a produção de carvão. No entanto, o corte anual admissível (CAA) das florestas moçambicanas é estimado em 2.309.300 m³ (MARZOLI (2007). A atividade de produção de carvão vegetal não é acompanhada por programas de reflorestamento (ALBERTO, 2006; BILA, 2005), esta realidade poderá ameaçar a perpetuação dos recursos florestais.

Por outro lado, no período entre 1990 a 2005, Moçambique registrou uma taxa anual de deflorestação de 0,3% (CAMPBELL *et al.* 2007). É importante mencionar que os dados sobre crescimento e rendimento das florestas naturais de Moçambique são escassos. Apesar dos esforços que têm sido desenvolvidos no estabelecimento de parcelas permanentes, atualmente ainda não existem dados sólidos. No entanto, avaliações preliminares indicam que a taxa média do incremento das florestas naturais de Moçambique variam de 0,414 a 2,075 m³/ha/ano (MARZOLI, 2007).

De acordo com os relatórios do Governo de Moçambique dos últimos cinco anos (DIREÇÃO NACIONAL DE TERRAS E FLORESTAS, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012), as espécies: *Millettia stuhlmannii*, *Azelia quanzensis*, *Pterocarpus angolensis*, *Swartzia madagascariensis*, *Combretum imberbe* e *Guibourtia conjugata* constam na lista das mais exploradas em Moçambique. Estes relatórios não incluem os volumes de madeira que são usados para fins energéticos. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (2002) classifica a madeira de *Dalbergia melanoxylon* como

madeira preciosa e estabelece que sua exploração deve ser feita em função de cotas atribuídas anualmente.

Amblygonocarpus andongensis apresenta volumes comerciais apenas nas províncias de Manica e Zambézia, enquanto que os volumes comerciais da *Khaya nyasica* estão disponíveis nas províncias de Manica, Nampula, Sofala e Zambézia (MARZOLI, 2007). BUNSTER (2006) refere que os principais usos das espécies em estudo incluem mobiliário, materiais de construção (portas, janelas e parquet), escultura, folheado, contraplacado, instrumentos musicais, entre outros. Nestes casos, geralmente o abate é feito de forma seletiva seguindo um plano de manejo sustentável.

Por outro lado, apesar da legislação florestal em vigor em Moçambique proibir o corte destas espécies para efeitos de energia, AFONSO *et al.* (2009), relatam a utilização para tal finalidade. Nos casos de exploração para energia, o corte é caracterizado por corte raso e sem observância de planos de manejo sustentáveis, para além de verificar-se a ausência de programas de reposição florestal.

De fato, a produção de carvão vegetal em Moçambique tem contribuído para o desmatamento das florestas. STEIERER (2011) refere que em 2010 foram explorados cerca de 11.203.998 m³ de lenha para a produção de carvão vegetal. MARZOLI (2007) estimou o corte anual admissível (CAA) das florestas moçambicanas em 2.309.300 m³. A prática tem mostrado que as espécies protegidas, também são alvo de pressão pelos carvoeiros.

3.3 Descrição e principais usos das espécies em estudo

São nove as espécies que fazem parte do presente estudo e também integram a lista de espécies proibidas pela Legislação Florestal para a produção de carvão vegetal: *Dalbergia melanoxylon*, *Guibourtia conjugata*, *Pterocarpus angolensis*, *Millettia stuhlmannii*, *Azelia quanzensis*, *Combretum imberbe*, *Khaya nyasica*, *Swartzia madagascariensis* e *Amblygonocarpus andongensis*.

***Dalbergia melanoxylon* Guil. & Perr**

Dalbergia melanoxylon (pau-preto) pertence à família Fabaceae – Faboideae. Pode ser um arbusto ou uma árvore pequena com 5 a 7 m de altura e tem a característica de ser muito ramificada. A espécie ocorre naturalmente na África Oriental (FIGURA 4), concretamente na África do Sul, Moçambique, Botswana, Zimbabwe e Suazilândia (PALGRAVE, 2002; GERMISHUIZEN; MEYER, 2003).

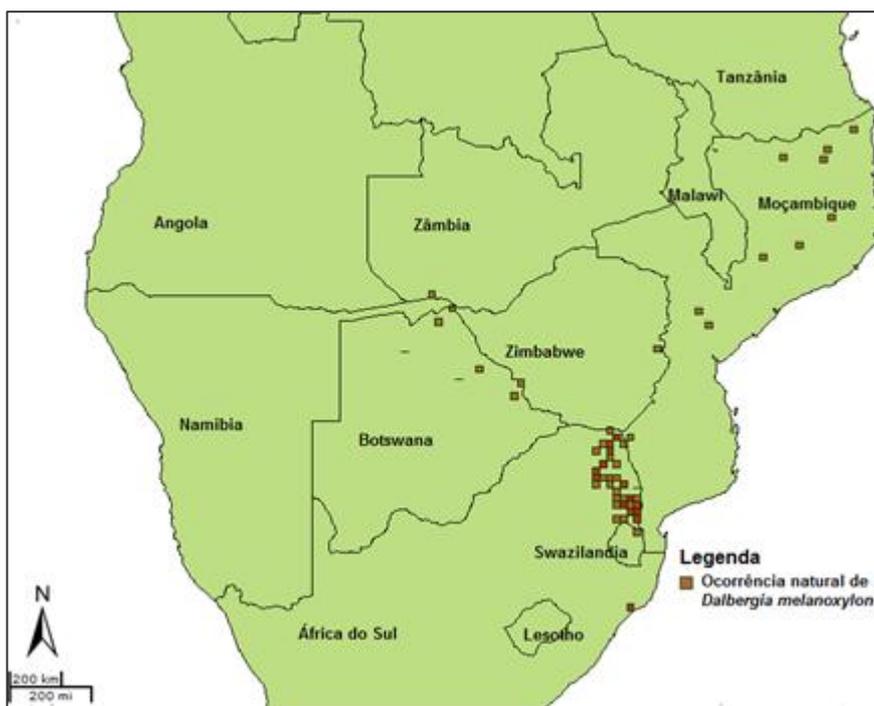


FIGURA 4 – OCORRÊNCIA NATURAL DE *Dalbergia melanoxylon*.

FONTE: GERMISHUIZEN; MEYER (2003).

Em Moçambique ocorre em florestas abertas tanto do litoral como dos planaltos, do rio Save para o Norte. Ocorre ainda em solos argilosos avermelhados e argilo-orgânicos escuros, com afloramento calcário (GOMES e SOUSA, 1967).

Na TABELA 2 são apresentados os valores médios das propriedades físicas de *Dalbergia melanoxylon*.

TABELA 2 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE *Dalbergia melanoxylon*.

PROPRIEDADE	VALOR MÉDIO	CLASSIFICAÇÃO
Densidade (kg/m ³)		
- normal (12%)	1.330	Muito pesada
- básica	1.152	
Retração		
- volumétrica total (%)	8,80	Pouco retrátil
- coeficiente radial	0,18	
- coeficiente tangencial	0,31	
Ponto de saturação de fibras (%)	18	Baixo

FONTE: BUNSTER (2006).

O cerne é de cor escura, por vezes com faixas longitudinais mais claras. Pode apresentar um desenho ondulado. Grã direita ou irregular e textura muito fina. Madeira muito resistente ao ataque de fungos e insetos e seca bem ao ar apesar da sua alta densidade. É uma madeira muito difícil de serrar e aplainar, não aceita pregos nem parafusos. Apresenta boa colagem, muito bom acabamento e recebe bem a serra e o verniz. Usa-se na fabricação de instrumentos musicais, trabalhos de torno, mobiliário de luxo e escultura artística (BUNSTER, 2006).

***Guibourtia conjugata* (Bolle) J. Léonard**

Guibourtia conjugata (chacate-preto) pertence à família Fabaceae – Caesalpinioideae. Possui alturas que variam de 7 a 9 m. Suas folhas apresentam folíolos ovais, as flores podem apresentar cor branca variando para amarelo cremoso e apresentam cerca de 5 mm de diâmetro. A FIGURA 5 mostra que esta espécie ocorre naturalmente em Moçambique, Zimbabwe e África do Sul (PALGRAVE, 2002).

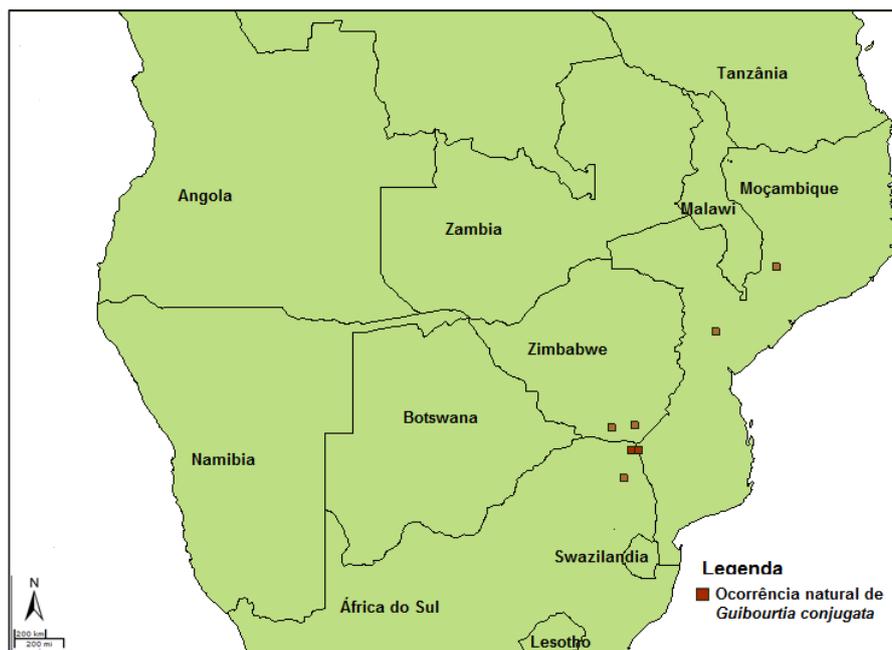


FIGURA 5 – OCORRÊNCIA NATURAL DE *Guibourtia conjugata*.

FONTE: PALGRAVE (2002).

Em Moçambique ocorre no interior da região do sul do rio Save, em solos arenosos e argilo-arenosos. É uma espécie rara em floresta aberta (GOMES e SOUSA, 1967).

Na TABELA 3 são apresentados os valores médios das propriedades físicas de *Guibourtia conjugata*.

TABELA 3 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE *Guibourtia conjugata*.

PROPRIEDADE	VALOR MÉDIO	CLASSIFICAÇÃO
Densidade (kg/m ³)		
- normal (12%)	1.110	Muito pesada
- básica	922	
Retração		
- volumétrica total (%)	13,80	Medianamente retrátil
- coeficiente radial	0,21	
- coeficiente tangencial	0,32	
Ponto de saturação de fibras (%)	25	Médio

FONTE: BUNSTER (2006).

A cor do cerne desta espécie varia de castanha a preta com traços longitudinais mais claros, medianamente brilhante. Grã revessa e textura muito fina. Esta madeira é muito resistente ao ataque de insetos e fungos e seca facilmente. É relativamente fácil de serrar e aplainar. Lixa-se bem, possui bom acabamento, é

resistente aos pregos e parafusos. Cola bem e recebe a cera e verniz. A madeira desta espécie é usada para trabalhos especiais de marcenaria, embutidos e obras de artesanato (BUNSTER, 2006).

***Pterocarpus angolensis* DC**

Pterocarpus angolensis (umbila) pertence à família Fabaceae - Faboideae. É uma árvore com porte que varia de médio a grande e com altura acima de 16 m chegando a 20 m em zonas com condições ideais. A espécie ocorre em florestas e savana arborizadas de África do Sul, Suazilândia, Angola, Moçambique, Zimbabwe, Botswana e Namíbia (FIGURA 6) (PALGRAVE, 2002).

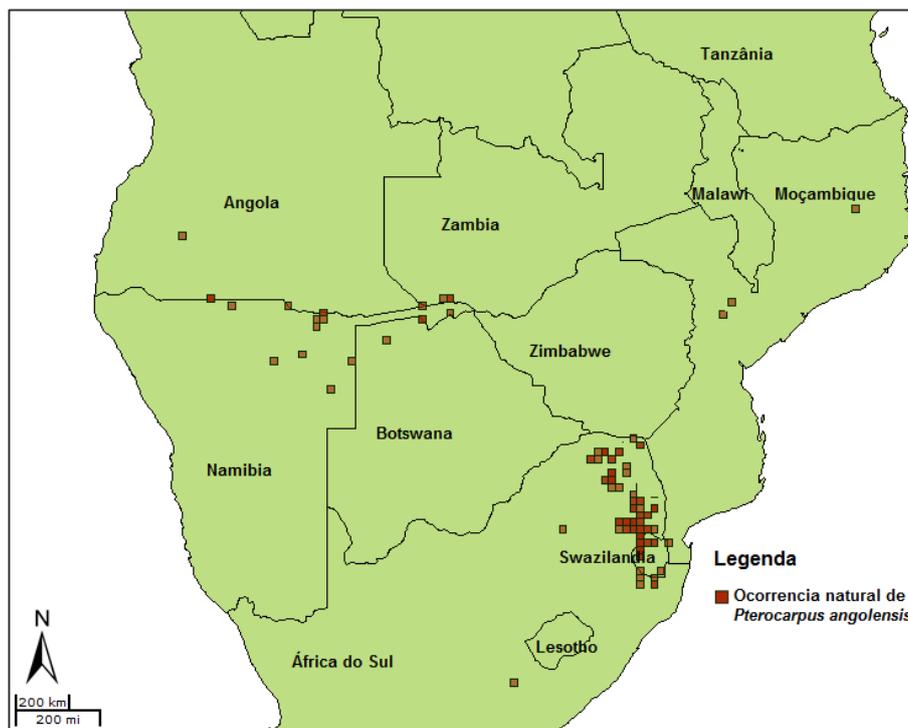


FIGURA 6 – OCORRÊNCIA NATURAL DE *Pterocarpus angolensis*.

FONTE: GERMISHUIZEN; MEYER (2003).

Em Moçambique ocorre em florestas abertas tanto do litoral como nos planaltos, desde o rio Limpopo para o norte, principalmente em solos argilo-arenosos, avermelhados (GOMES e SOUSA, 1967).

Na TABELA 4 são apresentados os valores médios das propriedades físicas de *Pterocarpus angolensis*.

TABELA 4 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE *Pterocarpus angolensis*.

PROPRIEDADE	VALOR MÉDIO	CLASSIFICAÇÃO
Densidade (kg/m ³)		
- normal (12%)	636	Leve
- básica	558	
Retração		
- volumétrica total (%)	6,40	Pouco retrátil
- coeficiente radial	0,13	
- coeficiente tangencial	0,21	
Ponto de saturação de fibras (%)	17	Baixo

FONTE: ALLIED WORLD RESOURCES (s.d.)

Em função da sua procedência, a madeira pode apresentar cerne castanho variando de castanho-claro levemente rosado a castanho-escuro. Desenho longitudinal muito acentuado dado pelo veio e traços vasculares dispersos. Grã ondulada ou reversa e textura pouco uniforme grosseira. Madeira muito durável, resistente ao ataque de insetos, fungos e xilófagos marinhos. É fácil de secar, serrar e aplainar, aceita bem pregos e parafusos, apresenta bom acabamento e recebe bem o polimento de cera e verniz. Madeira excelente para marcenaria e carpintaria. Também é própria para o fabrico de folheados decorativos, construção civil e naval (BUNSTER, 2006).

***Millettia stuhlmannii* Taub.**

Millettia stuhlmannii (jambire) pertence à família Fabaceae - Faboideae. É uma árvore de grande porte chegando a ter 20 m de altura. A FIGURA 7 mostra que esta espécie ocorre naturalmente em Moçambique e Zimbabwe (GERMISHUIZEN; MEYER, 2003), principalmente em florestas de alta precipitação e de zonas ribeirinhas onde chega a atingir maior tamanho. Longe destas áreas, em zonas rochosas, chega a atingir alturas que variam de 7 a 10 m (PALGRAVE, 2002).



FIGURA 7 – OCORRÊNCIA NATURAL DE *Millettia stuhlmannii*.

FONTE: GERMISHUIZEN; MEYER (2003).

Em Moçambique ocorre em floresta aberta da zona litoral ao norte do rio Save, em solos argilo-arenosos e avermelhados (GOMES e SOUSA, 1967).

Na TABELA 5 são apresentados os valores médios das propriedades físicas de *Millettia stuhlmannii*.

TABELA 5 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE *Millettia stuhlmannii*.

PROPRIEDADE	VALOR MÉDIO	CLASSIFICAÇÃO
Densidade (kg/m ³)		
- normal (12%)	825	Pesada
- básica	714	
Retração		
- volumétrica total (%)	9,90	Pouco retrátil
- coeficiente radial	0,20	
- coeficiente tangencial	0,32	
Ponto de saturação de fibras (%)	18	Baixo

FONTE: ALLIED WORLD RESOURCES (s.d.).

Sua madeira apresenta cerne castanho com zonas mais escuras alternadas com outras mais claras. Desenho em ziguezague ou listado, dado pela alternância dos tecidos fibrosos e parenquimáticos. Grã revesa e textura heterogênea média a grosseira. Madeira muito durável, resistente ao ataque de insetos e fungos, é de fácil secagem sofrendo apenas empenamentos suaves e fendas pequenas. É difícil de

serrar e aplainar, difícil de pregar e resistente ao parafuso, recebe bem polimento e cera, bom aspecto com verniz. Esta madeira é aplicada principalmente em marcenaria, decoração de interiores, pisos e folheados (BUNSTER, 2006).

***Afzelia quanzensis* Welw.**

Afzelia quanzensis (chanfuta) pertence à família Fabaceae - Caesalpinioideae. As árvores desta espécie são de tamanho médio a grande com altura que varia de 12 a 15 m, mas chegando a atingir 35 m em zonas com condições ideais. Ocorre naturalmente (FIGURA 8) em florestas de baixas altitudes e precipitações da África do Sul, Suazilândia, Moçambique, Angola, Tanzânia, Zimbabwe e Botswana (PALGRAVE, 2002; GERMISHUIZEN; MEYER, 2003).

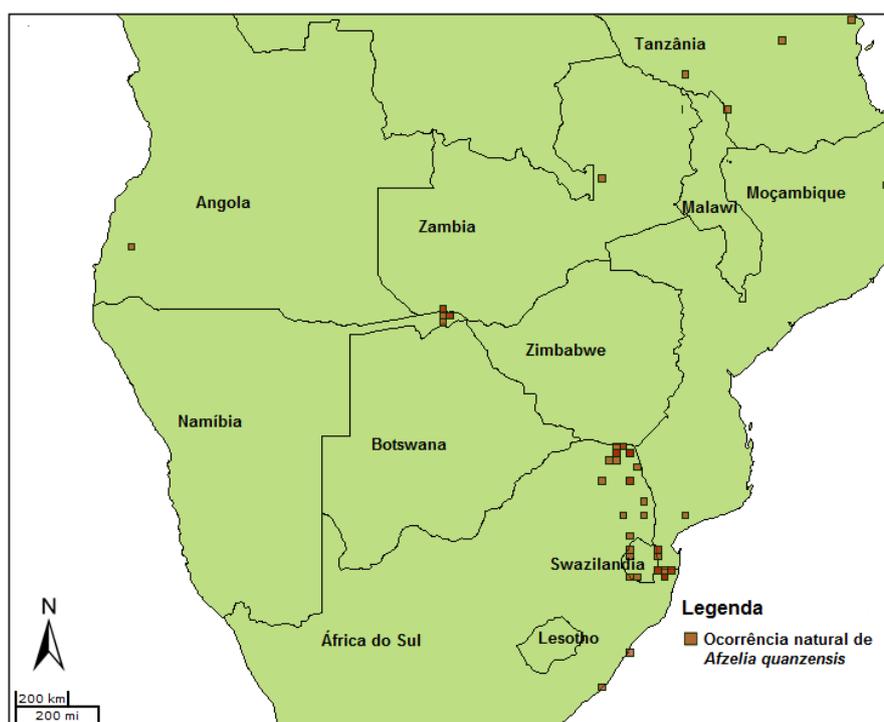


FIGURA 8 – OCORRÊNCIA NATURAL DE *Afzelia quanzensis*.

FONTE: GERMISHUIZEN; MEYER (2003).

Em Moçambique ocorre em todo território, desde a costa até as regiões planálticas. Ocorre em florestas abertas com solos arenosos ou argilosos, secos, exceto quando habita a galeria florestal (GOMES e SOUSA, 1967).

Na TABELA 6 são apresentados os valores médios das propriedades físicas de *Afzelia quanzensis*.

TABELA 6 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE *Afzelia quanzensis*.

PROPRIEDADE	VALOR MÉDIO	CLASSIFICAÇÃO
Densidade (kg/m ³)		
- normal (12%)	790	Pesada
- básica	692	
Retração		
- volumétrica total (%)	6,80	Pouco retrátil
- coeficiente radial	0,17	
- coeficiente tangencial	0,18	
Ponto de saturação de fibras (%)	17	Baixo

FONTE: ALLIED WORLD RESOURCES (s.d.).

O cerne recém cortado é castanho-amarelado mudando com a exposição para castanho-avermelhado. Apresenta riscos mais claros às vezes com inclusões esbranquiçadas. Grã reversa e textura média a grosseira. Madeira muito durável, resistente ao ataque de fungos e insetos, seca sem dificuldades e resiste à impregnação. É difícil de serrar quando seca, mas aplaina com certa facilidade, oferece alguma resistência ao prego rachando facilmente, também resiste ao parafuso e recebe bem a cera e o verniz. Própria para mobiliário e decorações de interiores, é utilizada em carpintarias para a fabricação de portas e janelas e na construção civil em geral (BUNSTER, 2006).

***Combretum imberbe* Wawra**

Segundo HERRMANN *et al.* (2003); PALGRAVE (2002), *Combretum imberbe* (mondzo) pertence à família Combretaceae. Possui um porte que varia de pequeno a grande com 7 a 20 m de altura. O diâmetro do fuste chega a atingir 50 cm. A FIGURA 9 mostra que esta espécie ocorre no sul de África em zonas de baixa a média altitude, muitas vezes ao longo de rios, principalmente em solos de aluvião de Moçambique, África do Sul, Suazilândia, Zimbabwe, Botswana e Namíbia.

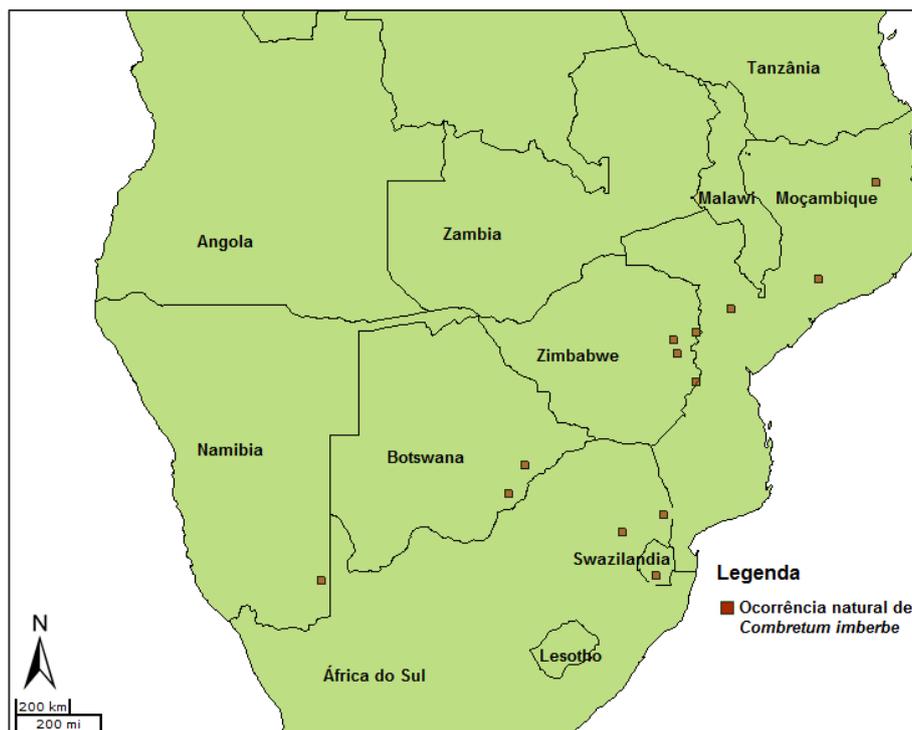


FIGURA 9 – OCORRÊNCIA NATURAL DE *Combretum imberbe*.

FONTE: PALGRAVE (2002).

Em Moçambique ocorre na zona litoral, sub-planáltica e planáltica, em floresta aberta, solos argilosos e avermelhados (GOMES e SOUSA (1967).

Na TABELA 7 são apresentados os valores médios das propriedades físicas de *Combretum imberbe*.

TABELA 7 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE *Combretum imberbe*.

PROPRIEDADE	VALOR MÉDIO	CLASSIFICAÇÃO
Densidade (kg/m ³)		
- normal (12%)	1.229	Muito pesada
- básica	1.053	
Retração		
- volumétrica total (%)	9,90	Pouco retrátil
- coeficiente radial	0,13	
- coeficiente tangencial	0,31	
Ponto de saturação de fibras (%)	21	Baixo

FONTE: BUNSTER (2006).

O cerne de *Combretum imberbe* Wawra é castanho-escuro, apresenta listras irregulares escuras alternadas e longitudinais, por vezes formando um desenho flexuoso. A madeira é medianamente brilhante, grã reversa e textura fina. Madeira muito resistente aos fungos e insetos, muito fácil de serrar e bastante rija ao

aplainar, oferece muita resistência à penetração de pregos e parafusos, cola bem e aceita bem a cera e verniz. Esta madeira é mais usada para pisos, objetos torneados em geral. Por vezes é usada em substituição da *Dalbergia melanoxylon* (BUNSTER, 2006).

***Khaya nyasica* Staff ex Baker F.**

De acordo com PALGRAVE (2002), *Khaya nyasica* (umbaua) pertence à família Meliaceae. Possui grande porte chegando a exceder 60 m de altura. Suas folhas são paripinadas, apresentam um arranjo em forma de espiral. As flores são brancas com 10 mm de diâmetro. O mesmo autor refere que em algumas regiões de Moçambique o caule é usado para fazer canoa. Em muitos locais de ocorrência em Moçambique, Malawi e Zâmbia considera-se que esta espécie apresenta uma das mais importantes madeiras. A FIGURA 10 mostra a ocorrência natural de *Khaya nyasica*.



FIGURA 10 – OCORRÊNCIA NATURAL DE *Khaya nyasica*.

FONTE:PALGRAVE (2002).

Em Moçambique ocorre em galerias florestais ao norte do rio Save, em solos de aluvião argilosos, úmidos, em especial nas nascentes dos cursos de água (GOMES e SOUSA, 1967).

Na TABELA 8 são apresentados os valores médios das propriedades físicas de *Khaya nyasica*.

TABELA 8 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE *Khaya nyasica*.

PROPRIEDADE	VALOR MÉDIO	CLASSIFICAÇÃO
Densidade (kg/m ³)		
- normal (12%)	697	Medianamente pesada
- básica	599	
Retração		
- volumétrica total (%)	9,60	Pouco retrátil
- coeficiente radial	0,16	
- coeficiente tangencial	0,25	
Ponto de saturação de fibras (%)	21	Baixo

FONTE: BUNSTER (2006).

Sua madeira apresenta cerne castanho com reflexos mais claros dourados, desenho uniforme tracejado e ponteadado, brilhante. Grã ondulada ou reversa e textura média a grosseira. A madeira é resistente ao ataque de fungos e insetos. Seca facilmente sem maior degradação, alburno medianamente fácil de tratar e cerne impermeável. Pode ser serrada com facilidade, mas é um pouco revessa a plaina, prega-se bem, e é relativamente resistente a parafusos, porém sem rachar. Cola bem e recebe bem a cera e verniz. A madeira desta espécie é indicada para folheados e contraplacados, marcenaria e carpintaria (BUNSTER, 2006).

***Swartzia madagascariensis* Desv.**

Swartzia madagascariensis (pau-ferro) pertence à família Fabaceae-Caesalpinioideae. Geralmente é caracterizada por árvores pequenas com alturas que variam de 3 a 4m. Dependendo das condições do lugar, indivíduos desta espécie chegam a atingir 15m de altura. A FIGURA 11 mostra que esta espécie ocorre naturalmente em Moçambique, Zimbabwe, Botsuana, Namíbia, e Camarões (PALGRAVE, 2002).



FIGURA 11 – OCORRÊNCIA NATURAL DE *Swartzia madagascariensis*.

FONTE: PALGRAVE (2002).

Em Moçambique ocorre nos solos argilosos das florestas abertas das zonas litorais e planálticas ao norte do rio Save (GOMES e SOUSA, 1967).

Na TABELA 9 são apresentados os valores médios das propriedades físicas de *Swartzia madagascariensis*.

TABELA 9 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE *Swartzia madagascariensis*.

PROPRIEDADE	VALOR MÉDIO	CLASSIFICAÇÃO
Densidade (kg/m ³)		
- normal (12%)	1.112	Muito pesada
- básica	950	
Retração		
- volumétrica total (%)	11,50	Medianamente retrátil
- coeficiente radial	0,24	
- coeficiente tangencial	0,38	
Ponto de saturação de fibras (%)	19	Baixo

FONTE: BUNSTER (2006).

O cerne é avermelhado com faixas de tonalidades variáveis. Apresenta desenho longitudinal em ziguezague. Apresenta grã reversa ou ondulada, sua textura é fina e homogênea. Madeira muito durável e imune ao ataque de fungos e insetos. Quanto à trabalhabilidade, constatou-se que é muito difícil de serrar,

aplainar, de pregar e é muito resistente ao parafuso. Cola com facilidade e dá uma boa resposta aos acabamentos. É muito usada para construção, pavimentação, escultura e trabalhos de torneamento. Também usada em marcenaria, mas em menor escala (BUNSTER, 2006).

***Amblygonocarpus andongensis* (Wew. ex Oliv.) Exell & Torre**

Amblygonocarpus andongensis (mutiria) pertence à família Fabaceae - Mimosoideae. É uma árvore grande com 15 a 20 m de altura. A FIGURA 12 mostra que esta espécie ocorre em florestas decíduas de baixa altitude de Moçambique, Zimbabwe e Botswana (PALGRAVE, 2002; GERMISHUIZEN; MEYER, 2003).



FIGURA 12 – OCORRÊNCIA NATURAL DE *Amblygonocarpus andongensis*.

FONTE: GERMISHUIZEN; MEYER (2003).

Em Moçambique ocorre na zona litoral, sub-planáltica e planáltica do rio Save para o norte e é frequente em floresta aberta, solos areno-argilosos (GOMES e SOUSA, 1967).

Na TABELA 10 são apresentados os valores médios das propriedades físicas de *Amblygonocarpus andongensis*.

TABELA 10 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE *Amblygonocarpus andongensis*.

PROPRIEDADE	VALOR MÉDIO	CLASSIFICAÇÃO
Densidade (kg/m ³)		
- normal (12%)	1.040	Muito pesada
- básica	879	
Retração		
- volumétrica total (%)	12,10	Medianamente retrátil
- coeficiente radial	0,24	
- coeficiente tangencial	0,29	
Ponto de saturação de fibras (%)	22	Baixo

FONTE: BUNSTER (2006).

O cerne é castanho-avermelhado, mais claro quando recém-cortado. Apresenta um desenho longitudinal levemente ondulado. Brilho pouco intenso, grã direita por vezes revessa e textura homogênea média a fina. Madeira muito resistente ao ataque de fungos, insetos xilófagos e térmitas. Seca lentamente apresentando algumas fendas superficiais. Oferece certa resistência à serragem e aplainagem, é resistente ao prego e muito resistente ao parafuso, cola bem e aceita bem a cera e o verniz. Recomendada para travessas, estacas e construção civil (BUNSTER, 2006).

3.4 Fiscalização dos produtos florestais em Moçambique

O exercício da fiscalização florestal em Moçambique é regido por um quadro legal que visa responder às necessidades de uso sustentável dos recursos florestais, destacando-se:

- 1) Política e Estratégia de Desenvolvimento de Florestas e Fauna Bravia, resolução do Conselho de Ministros n° 8/97 de 1 de Abril;
- 2) Lei de Florestas e Fauna Bravia, Lei 10/99 de 7 de Julho;
- 3) Regulamento da Lei de Florestas e Fauna Bravia, decreto Lei 12/2002, de 6 de Junho.

Compete ao Estado através do Ministério da Agricultura proceder a fiscalização florestal visando monitorar, orientar e disciplinar as atividades de conservação, utilização e manejo dos recursos florestais. A fiscalização destes recursos é exercida pelos fiscais de florestas e fauna bravia, sendo realizada nos postos fixos e através de brigadas móveis. Os postos fixos devem ser devidamente

sinalizados, para a verificação do licenciamento florestal, através de guias de trânsito devidamente preenchidas pelo operador. A Legislação também autoriza a fiscalização de recursos florestais aos fiscais ajuramentados e agentes comunitários (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1999).

A atividade de produção de lenha e carvão para a comercialização é realizada por operadores florestais localizados de forma dispersa. Os fiscais são insuficientes e os meios disponíveis são limitados, o que dificulta o monitoramento das florestas nacionais (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1997). Esta situação constitui um dos maiores desafios do setor de fiscalização na procura de soluções para uma utilização sustentável dos recursos florestais.

Relativo ainda à fiscalização, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1997) refere que o estado privilegia a participação dos diferentes setores da sociedade na gestão das florestas e da fauna bravia destacando o estabelecimento de comitês de gestão dos recursos naturais com a participação das autoridades locais, comunidades locais, organizações não governamentais e setor privado nas zonas de maior potencial florestal para potenciar a capacidade de fiscalização e controlo do recurso florestal.

No entanto, apesar do princípio do envolvimento dos diferentes intervenientes na fiscalização ser uma prerrogativa legal estabelecida desde a década de 1990, a participação destes em atividades de fiscalização é praticamente nula (BILA, 2005). A população rural não tem referenciado o uso da biomassa lenhosa como causa de preocupação para a preservação das florestas (WORLD ENERGY OUTLOOK, 2006); e as autoridades tradicionais vêm controlando o uso destes recursos em regiões de sua influência, através de tabus e práticas costumeiras que, em geral variam de região para região e são pouco conhecidas, não sistematizadas e de alcance limitado (BILA, 2005).

As infrações previstas na Lei 19/99, Lei de Florestas e Fauna Bravia, são punidas com multas e acompanhadas de medidas de recuperação ou de compensação obrigatória dos danos causados, sem prejuízo de outras a que derem lugar (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2002).

3.5 Antracologia

A Antracologia é o estudo de carvões com base na anatomia da madeira. Isto é possível porque a estrutura anatômica do lenho se mantém mesmo após a carbonização (PRIOR; GASSON, 1993; GONÇALVES *et al.*, 2012). Embora ainda não seja amplamente divulgada, a análise para identificação de espécies a partir de material carbonizado é bastante antiga (BREUIL¹, 1903, *apud* GONÇALVES, 2010). O método utilizado no passado para a confecção e análise de lâminas finas de material carbonizado era muito lento e de difícil obtenção. Somente com o advento de uma metodologia mais simples, baseada no uso da microscopia de luz refletida, na década de 1960 (VERNET, 1973), tornou-se possível a multiplicação das análises antracológicas.

No Brasil, a antracologia está recebendo uma posição de destaque (GONÇALVES *et al.*, 2012). O país é o maior produtor mundial de carvão vegetal (STEIERER, 2011) e é um dos países que vem desenvolvendo essa metodologia para fins de fiscalização e controle da comercialização de carvão vegetal (GONÇALVES *et al.*, 2012). Embora a antracologia tenha sido introduzida no país no final da década de 90 (SCHEEL *et al.*, 1996; SCHEEL-YBERT, 1998), o direcionamento para o Setor Florestal começou apenas em 2007 e apresenta um importante caráter conservacionista, podendo contribuir para evitar a destruição de biomas nativos e para garantir a sustentabilidade da cadeia produtiva do carvão vegetal (GONÇALVES; SCHEEL-YBERT, 2007).

O conhecimento das técnicas abordadas nesta disciplina pode ser usado para reconstituir a flora de uma determinada região e, por conseguinte, inferir sobre o impacto antrópico exercido (SCHEEL *et al.*, 1996).

A importância da Antracologia tem haver com sua facilidade de aplicação e pela diversidade de informação que pode ser obtida do carvão (SCHEEL-YBERT, 2003).

É importante mencionar que a identificação taxonômica do material carbonizado é feita a partir da comparação entre espécimes conhecidos e o material a ser identificado. Neste caso, a comparação direta do espécime desconhecido com

¹ BREUIL, H. Les fouilles dans la grotte du Mas d'Azil (Ariège). **Bulletin Archéologique**, Montauban, p. 421-436, 1903.

amostras atuais bem identificadas continua sendo a maneira mais eficaz de se obter uma boa determinação. Em regiões tropicais, onde estudos de anatomia do lenho ainda são insipientes, recomenda-se a constituição de coleções de referência (SCHEEL-YBERT *et al.*, 2006).

3.6 Carbonização e comportamento da estrutura anatômica do lenho

Carbonização é o processo que consiste em submeter a madeira ao aquecimento para ser transformada em carvão vegetal. Este processo é conduzido sem a produção de chamas num sistema isolado do ar (BRAADBAART, 2004). De acordo com BEALL; EICKNER (1970); BYRNE; NAGLE (1997), o processo de carbonização ocorre com a degradação gradual dos principais componentes da madeira, sendo a hemicelulose entre 200 a 260°C; celulose entre 240 a 350°C e lignina entre 280 a 500°C.

A FIGURA 13 apresenta os cinco períodos correspondentes ao processo de evolução da carbonização desenvolvidos por Kanury e Blackshear (OLIVEIRA *et al.*, 1982). Este processo começa desde a incorporação da madeira no forno e termina com a formação do carvão vegetal.

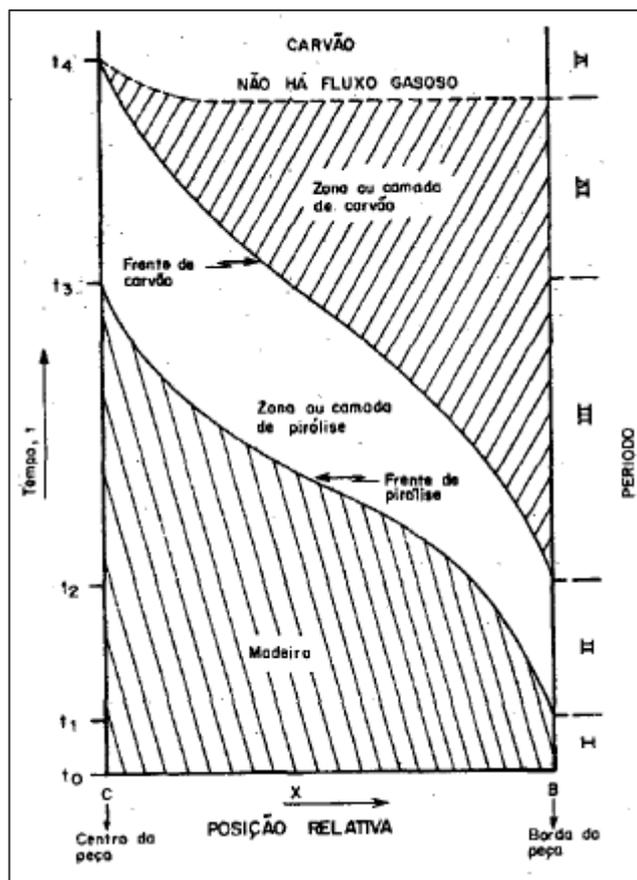


FIGURA 13 – MODELO DE CARBONIZAÇÃO DE KANURY E BLACKSHEAR.

FONTE: OLIVEIRA *et al.* (1982).

OLIVEIRA *et al.* (1982), explicam as cinco fases de carbonização da seguinte forma:

Fase I) - o calor se propaga na madeira por condução até t_1 . Nesta fase a madeira não sofre qualquer alteração, havendo apenas liberação de água;

Fase II) - a madeira começa a sofrer as primeiras alterações formando a "frente de pirólise". Nesta fase se distinguem dois estágios: um correspondente à zona de pirólise e outro em que a madeira continua aquecendo. Os gases quentes formados nessa fase transportam o calor para o exterior da madeira por convecção.

Fase III) - inicia-se a formação de carvão, existindo ainda uma camada interna da madeira sem sofrer alteração. Nesta fase a madeira sofre um maior grau de transformação caracterizada pela zona de pirólise que já atinge o centro da peça. A transferência de calor na zona do carvão se processa através da condução e convecção. Outros fenômenos ocorrem nessa zona.

Fase IV) - é caracterizada pelo desaparecimento da madeira em seu estado original. A zona de carvão é predominante, restando apenas uma parte da zona de pirólise.

Fase V) - é a última fase da carbonização formada por uma única camada de carvão.

O processo de carbonização vem sendo desenvolvido desde o início da história da humanidade (BYRNE; NAGLE, 1997). Atualmente, a produção de carvão vegetal é muito influenciada pelos países africanos, que contribuem com cerca de 63% da produção mundial. Nestes países, a carbonização do material lenhoso é feita principalmente para fornecer combustível para satisfazer as necessidades energéticas domésticas (STEIERER, 2011).

Apesar do processo de carbonização ter iniciado nos primórdios da humanidade, ele é tão complexo que a ciência ainda não conseguiu explicar todos os fenômenos que nela acontecem (BYRNE; NAGLE, 1997).

Ao estudar *Quercus variabilis*, KWON *et al.* (2009) concluíram que a transição da madeira para carvão ocorre a 350°C. Para CUTTER *et al.* (1980); NISHIMIYA *et al.* (1998), que estudaram *Pinus spp.*, e *Cryptomeria japonica* D. Don, respectivamente, a maior taxa de degradação térmica da madeira ocorre entre 300 e 350°C.

KIM; HANNA (2006) analisaram a morfologia das características do carvão de *Quercus variabilis* BL produzido em diferentes temperaturas: 400°C, 600°C, 800°C e 1000°C. O estudo constatou que a maior parte das características morfológicas da madeira permaneceu no carvão produzido a 400°C.

BRAADBAART; POOLE (2008) estudaram a morfologia e as propriedades do carvão vegetal de *Pinus sylvestris*, *Quercus robur*, *Taxus baccata*, *Betula pendula*, *Carpinus betulus* e *Juglans regia*, obtidos em diferentes temperaturas até 1200°C. O estudo constatou que a 600°C a anatomia da madeira começou a ficar distorcida, e a 1200°C foi difícil o seu reconhecimento.

PRIOR; GASSON (1993) trabalharam com seis espécies nativas de Swazilândia, região da África Austral: *Combretum zeyheri*, *Terminalia sericea*, *Acacia tortilis*, *Lonchocarpus capassa*, *Ziziphus mucronata* e *Sclerocarya caffra*. Amostras destas espécies foram carbonizadas durante 30 minutos num intervalo de temperatura que variou de 400 e 700°C. O objetivo do estudo era avaliar as

mudanças anatômicas em função do aquecimento. Os autores constataram que apesar das alterações das características quantitativas resultantes do aumento do efeito da temperatura, o carvão vegetal manteve grande parte das características qualitativas da anatomia da madeira.

Com a carbonização é normal surgirem fissuras e deformações na madeira. Também verifica-se a contração ou colapso das células, a redução da massa e a fragmentação. As fissuras, normalmente desenvolvidas no plano transversal a partir dos vasos e raios, são causadas nas primeiras fases de combustão (KOCAEFE *et al.* 2007). Apesar de serem produzidas deformações tanto macro como microscópicas, a carbonização da madeira não impossibilita a sua identificação taxonômica (ALLUÉ, 2002; GONÇALVES *et al.*, 2012).

3.7 Propriedades do carvão vegetal

Os principais parâmetros usados para analisar as propriedades do carvão vegetal são: teor de umidade da madeira, teor de cinzas, material volátil, carbono fixo e poder calorífico (FAO, 1985).

A umidade da madeira tem uma grande influencia na sua propriedade energética, pois quanto maior for, menor será o valor do poder calorífico (BRAND, 2010). Isto explica-se pelo fato de que, para um determinado peso de combustível, a quantidade de matéria seca ser proporcionalmente inferior e, conseqüentemente, menor quantidade de carbono a ser obtido (MARTIN, 1989). Por outro lado, OLIVEIRA *et al.* (1982); KAISER (1966), referiram que quanto maior for o teor de umidade maior será a energia utilizada na evaporação da água contida no combustível, diminuindo deste modo o valor do poder calorífico.

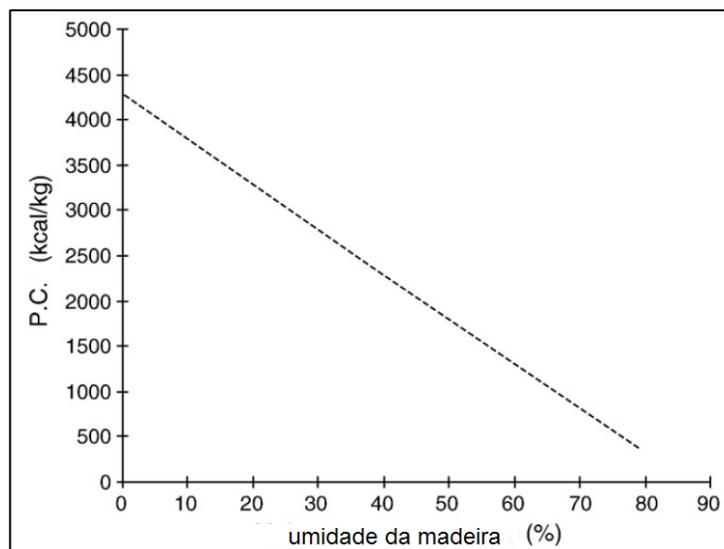


FIGURA 14 – INTERAÇÃO ENTRE O CONTEÚDO DE UMIDADE DA MADEIRA E SEU PODER CALORÍFICO LÍQUIDO.

FONTE: THÉRY-PARISOT *et al.* (2010)

O carvão vegetal absorve a umidade da atmosfera, principalmente durante as chuvas, perdendo-a parcialmente com a sua exposição ao sol e dependendo da umidade relativa do ambiente a que está exposto.

A FIGURA 15 apresenta a curva de absorção e perda de umidade de carvão vegetal produzido a 400°C, em função da umidade relativa a partir da madeira de *Liriodendron tulipifera* L.

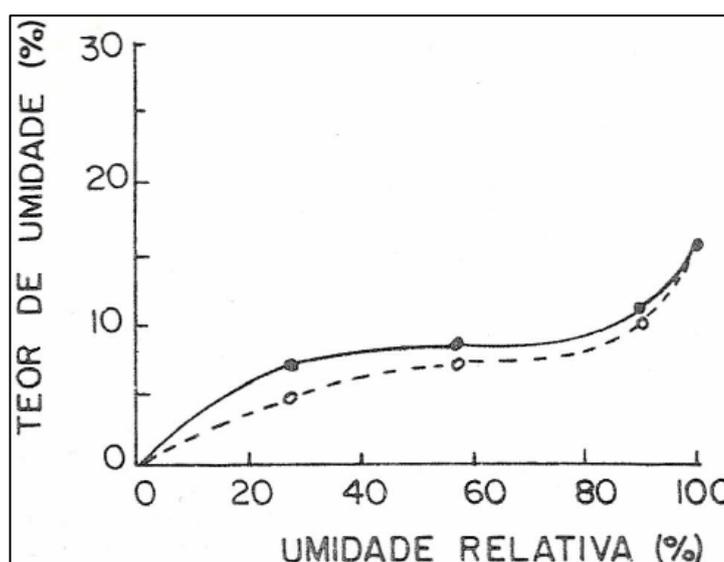


FIGURA 15 – ABSORÇÃO E PERDA DE UMIDADE DE CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A 400°C, EM FUNÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR A PARTIR DA MADEIRA DE *Liriodendron tulipifera* L.

FONTE: BEALL, *et al.* (1974).

A cinza é constituída basicamente por minerais incrustados na madeira. Este é um dos parâmetros importantes que afeta a qualidade do carvão vegetal (KATAKI; KONWER, 2001; CHANNIWALA; PARIKH (2002). De acordo com KAISER (1966), os minerais incrustados na madeira são considerados materiais inertes e, portanto, a presença de grandes quantidades de teor de cinza, pode contribuir para reduzir o valor de poder calorífico.

Materiais extrativos são compostos orgânicos sintetizados em várias partes da planta com a função defensiva e/ou de atração (PICHESKY; GERSHENZON, 2002). A eliminação dos materiais voláteis devido ao efeito do aumento da temperatura provoca modificação na estrutura do carvão (OLIVEIRA *et al.*, 1982). De acordo com os mesmos autores, a mudança das características físicas verificadas no carvão (porosidade, diâmetro médio dos vasos, densidade) devido à eliminação do material volátil, tem uma grande influencia nas propriedades do carvão.

O carbono fixo é um dos componentes que pode ser obtido através da análise química imediata do carvão vegetal. Altos índices de carbono fixo contribuem para uma queima mais lenta, implicando maior tempo de residência dentro dos aparelhos de queima, em comparação com outros que tenham menor teor de carbono fixo. Importa referir que esta afirmativa só é válida para as mesmas condições operacionais (BRITO; BARRICHELO, 1982).

O poder calorífico de um combustível é a quantidade de energia que se desprende na combustão completa de uma unidade de massa do combustível, mensurado pela unidade energética tendo em conta a unidade de massa, isto é: MJ/kg. Este parâmetro é bastante utilizado para avaliar a qualidade de um combustível (OLIVEIRA *et al.*, 1982; MARTIN, 1989; NÚÑEZ-REGUEIRA *et al.* 1997; CIOLKOSZ, 2010). De acordo com os mesmos autores, dependendo do método usado pode-se determinar o poder calorífico superior (PCS) ou inferior (PCI),

O PCS é determinado experimentalmente na bomba calorimétrica. Este não inclui a energia necessária para a evaporação da água que se encontra no combustível. O PCI é determinado teoricamente considerando o calor necessário para vaporizar a água formada na combustão do hidrogênio e da umidade do carvão (OLIVEIRA *et al.*, 1982); NÚÑEZ-REGUEIRA *et al.*, 1997).

O valor do poder calorífico de uma determinada espécie arbórea varia em função do clima e tipo de solo (CIOLKOSZ, 2010). KAISER (1966), PETROFF; DOAT (1978); KUMAR *et al.* (2011) referem que a densidade básica (g/cm^3), a quantidade de cinzas, materiais voláteis, umidade e carbono fixo também influenciam os valores do poder calorífico.

O poder calorífico do carvão vegetal é superior ao da madeira. Esta é uma das principais razões para que a madeira seja carbonizada. A diferença de valor do poder calorífico entre a madeira e o carvão resulta principalmente do fato da percentagem de carbono fixo ser mais elevada no carvão vegetal. Isto faz com que o processo de carbonização seja considerado ótimo quando o carvão vegetal obtido apresenta valores elevados de carbono fixo (MARTIN, 1989).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

As amostras das espécies em estudo foram coletadas em florestas naturais de Moçambique. Na TABELA 11 e FIGURA 16 são apresentadas as especificações dos locais de coleta das amostras das espécies em estudo.

TABELA 11 – PROVENIÊNCIA DAS AMOSTRAS.

PROVÍNCIA	DISTRITO	LATITUDE	LONGITUDE	TEMPERATURA MÉDIA ANUAL (°C)
Cabo Delgado	Montepuez	E39° 17' 1,70''	S12° 09' 17,82''	22 a 24
Cabo Delgado	Namuno	E38° 34' 46,60''	S13° 55' 10,44''	18 a 20
Cabo Delgado	Mocímboa da Praia	E40° 04' 47,69''	S11° 05' 59,90''	22 a 24
Sofala	Caia	E34° 50' 34,79''	S17° 30' 21,19''	20 a 22

FONTE: INSTITUTO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO - INDE (2009).

A precipitação média anual dos locais de estudo varia de 800 a 1200 mm, e nestas regiões predomina o clima tropical úmido (INDE, 2009).

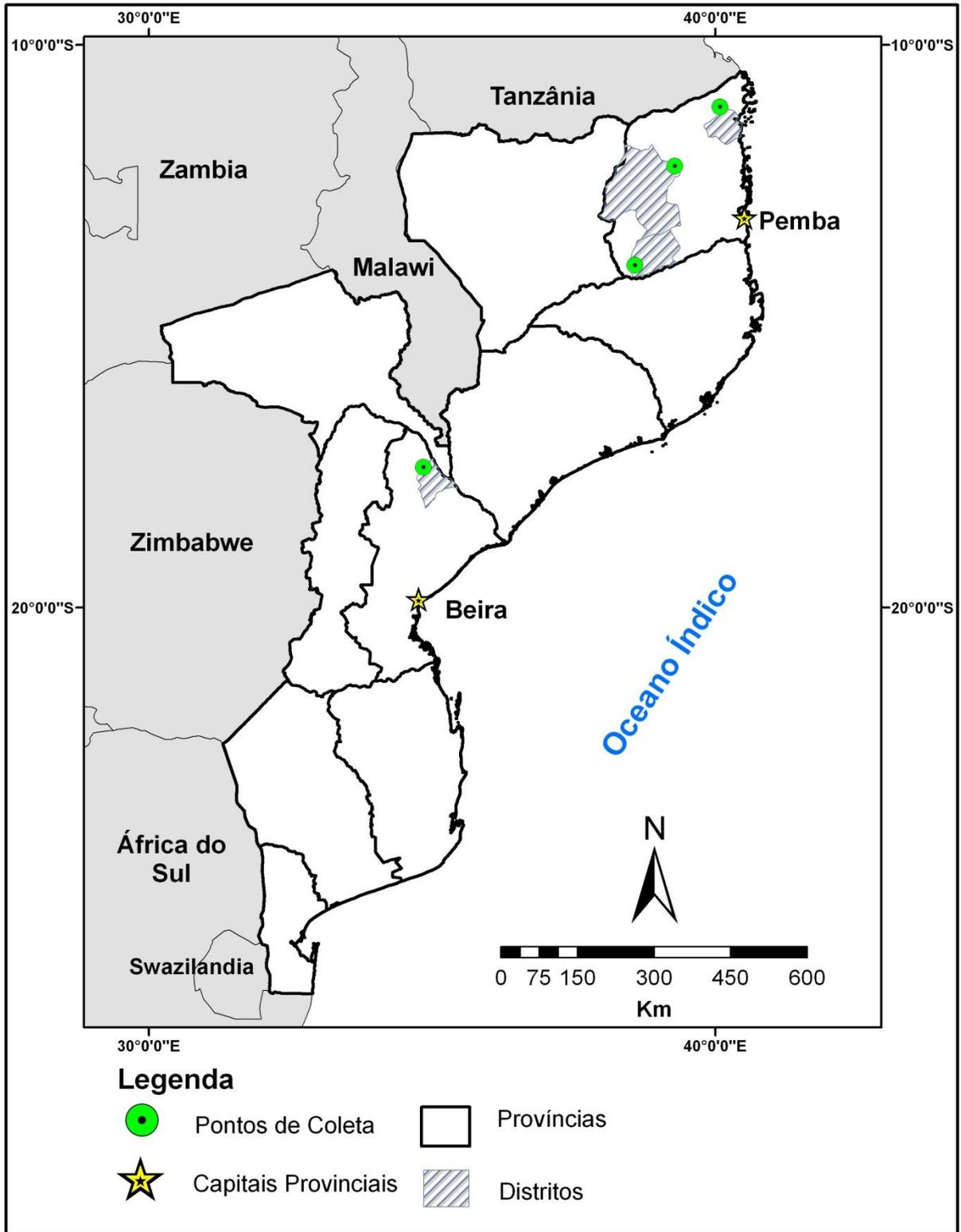


FIGURA 16 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS.

AUTOR (2012).

4.2 Material de estudo

Para cada espécie foram coletadas três amostras de um indivíduo, sendo na base a 1 m e a 2 m de altura. As árvores cortadas foram aleatoriamente escolhidas e seccionadas em toras de onde foram retirados discos de 5 cm de espessura. Os discos apresentavam diâmetros que variavam de 18 a 35 cm e foram usados para produzir corpos de prova com dimensões de 5 cm x 2,5 cm x 2,5 cm (tangencial, radial e transversal). Na TABELA 12 é apresentada a lista das espécies em estudo, que fazem parte das espécies nativas de Moçambique com alto valor comercial (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2002). Sua distribuição natural é específica, podendo ser explorada comercialmente em determinadas regiões do país (MARZOLI, 2007).

TABELA 12 – LISTA DAS ESPÉCIES EM ESTUDO.

CLASSE COMERCIAL	NOME CIENTÍFICO	NOME COMERCIAL	FAMÍLIA
Preciosa	<i>Dalbergia melanoxylon</i>	Pau-preto	Fabaceae – Faboideae
Preciosa	<i>Guibourtia conjugata</i>	Chacate preto	Fabaceae – Caesalpinioideae
Primeira classe	<i>Pterocarpus angolensis</i>	Umbila	Fabaceae – Faboideae
Primeira classe	<i>Millettia stuhlmannii</i>	Jambire	Fabaceae – Faboideae
Primeira classe	<i>Azelia quanzensis</i>	Chanfuta	Fabaceae- Caesalpinioideae
Primeira classe	<i>Combretum imberbe</i>	Mondzo	Combretaceae
Primeira classe	<i>Khaya nyasica</i>	Umbaua	Meliaceae
Primeira classe	<i>Swartzia madagascariensis</i>	Pau-ferro	Fabaceae – Caesalpinioideae
Segunda classe	<i>Amblygonocarpus andongensis</i>	Mutiria	Fabaceae – Mimosoideae

FONTE: MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (2002); PALGRAVE (2002); INSIDE WOOD (s.d.); RICHTER; DALLWITZ (2000).

4.3 Carbonização da madeira e avaliação das características anatômicas do carvão

Os corpos de prova foram envolvidos em papel alumínio e carbonizados em forno elétrico mufla até a temperatura máxima de 450°C durante 1h. Após a carbonização as amostras foram arrefecidas e pesadas.

Estudos sobre o processo de carbonização através dos fornos tradicionais utilizados em Moçambique são escassos, o que dificultou a escolha da temperatura de carbonização do lenho deste estudo. Contudo, KWON *et al.* (2009); OLIVEIRA *et al.* (2010); ROUSSET *et al.* (2011) que estudaram processos de carbonização da

madeira de diferentes espécies utilizaram 450°C como temperatura máxima. PEARSALL (2000) recomendou uma temperatura de carbonização entre 400 e 500°C.

O carvão foi quebrado manualmente seguindo os três planos estruturais do lenho. A análise do carvão foi efetuada no estereoscópio ZEISS Stereo Discovery.V12.

A descrição das características anatômicas qualitativas foi feita com base nos procedimentos que constam nas normas do IAWA COMMITTEE (1989). As fotos das superfícies dos três planos de corte do carvão foram feitas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) do Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira da UFPR.

A determinação das características anatômicas quantitativas foi feita através da média ponderada de 25 medições para o diâmetro tangencial dos vasos, altura e largura dos raios. Foram estabelecidos 25 quadrados nas fotos dos planos transversais para determinar a frequência dos vasos e dos raios por milímetro quadrado.

4.4 Avaliação das propriedades do carvão

As análises das propriedades do carvão foram efetuadas no laboratório da EMBRAPA Florestas.

O carvão foi moído e depois peneirado, sendo utilizada amostra com granulometria inferior a 19 mm.

O teor de materiais voláteis, de cinzas e carbono fixo, em base seca das amostras carbonizadas foi determinado de acordo com a Norma ABNT NBR 8112 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983). O poder calorífico do material foi determinado através de calorímetro IKA, modelo 5.000, conforme a norma NBR 8633 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984). A qualidade do carvão vegetal foi avaliada em função dos seguintes parâmetros: teor de umidade (%), materiais voláteis (%), teor de cinzas (%), carbono fixo (%) e poder calorífico (MJ/kg).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Anatomia do carvão de nove espécies arbóreas

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho constatou-se que a literatura sobre a descrição anatômica do carvão das espécies estudadas é escassa. No entanto, foi possível encontrar referências bibliográficas que descrevem a anatomia do lenho das nove espécies em estudo. METCALFE; CHALK (1950) descreveram o lenho das nove espécies analisadas neste estudo; o banco de dados do INSIDE WOOD tem a descrição anatômica do lenho de *Combretum imberbe*, *Pterocarpus angolensis*, *Swartzia madagascariensis*, *Millettia stuhlmannii*, *Azelia quanzensis*, *Dalbergia melanoxylon* e *Amblygonocarpus andogensis*. RICHTER; DALLWITZ (2000) descreveram o lenho de *Khaya nyasica*, *Pterocarpus angolensis*, *Swartzia madagascariensis*, *Guibourtia conjugata*, *Millettia stuhlmannii*, *Azelia quanzensis* e *Dalbergia melanoxylon*.; e AYENSU; BENTUM (1974), estudaram a anatomia do lenho de *Khaya nyasica*.

Importa referir que a temperatura máxima de carbonização utilizada neste estudo (450°C), foi determinante para a observação das características anatômicas do carvão das espécies em estudo. KIM; HANNA (2006); BRAADBAART; POOLE (2008) constataram que a partir de 600°C a estrutura anatômica do carvão começa a ficar distorcida, dificultando deste modo a descrição anatômica dos carvões.

No caso da taxa de aquecimento, que para o presente estudo foi na ordem de 7,5°C/min, estudos semelhantes mostram que este parâmetro não interferiu na alteração da estrutura anatômica do carvão. PRIOR; ALVIN (1983) carbonizaram madeiras das espécies *Dichrostachys cinerea* e *Salix subserata* até uma temperatura máxima de 400°C com taxa de aquecimento de 6,67°C/min. KWON *et al.* (2009) carbonizaram madeira de *Quercus variabilis* a 450°C, usando a taxa de aquecimento de 5°C/min. OLIVEIRA *et al.* (2010), carbonizaram *Eucalyptus pellita* até a temperatura máxima de 450°C com a taxa de aquecimento de 1,25°C/min. Todos estes autores foram unânimes em afirmar que a estrutura anatômica da madeira manteve-se visível no carvão.

A descrição anatômica do carvão vegetal das espécies estudadas é apresentada nos itens 5.1.1-9. As FIGURAS 17-25 mostram os três planos de corte do carvão das espécies estudadas.

5.1.1 *Khaya nyasica* Staff ex Baker F.

As camadas de crescimento são distintas por diferença na espessura da parede de fibras do lenho inicial e do lenho tardio. Porosidade difusa, vasos em arranjo disperso com agrupamento solitário (61%), múltiplos radiais de 2 (29%) e de 3 (7%). Foram observados 20(13-32) vasos por mm², com diâmetro tangencial de 127(42-202) µm. A espécie apresenta placas de perfuração simples, pontoações intervasculares com arranjo alternado. Foram observados depósitos nos vasos. Parênquima axial vasicêntrico e escasso.

Raios com duas a cinco células de largura e seu corpo composto por células procumbentes e duas fileiras marginais compostas por células eretas e/ou quadradas. Foram observados 4(2-9) raios por mm, com largura de 83(42-148) µm e altura de 426(297-686) µm. Ausência de uma estrutura estratificada. Presença de cristais prismáticos em células eretas e/ou quadradas do raio e nas células do parênquima axial. A FIGURA 17 apresenta os três planos de corte do carvão de *Khaya nyasica*.

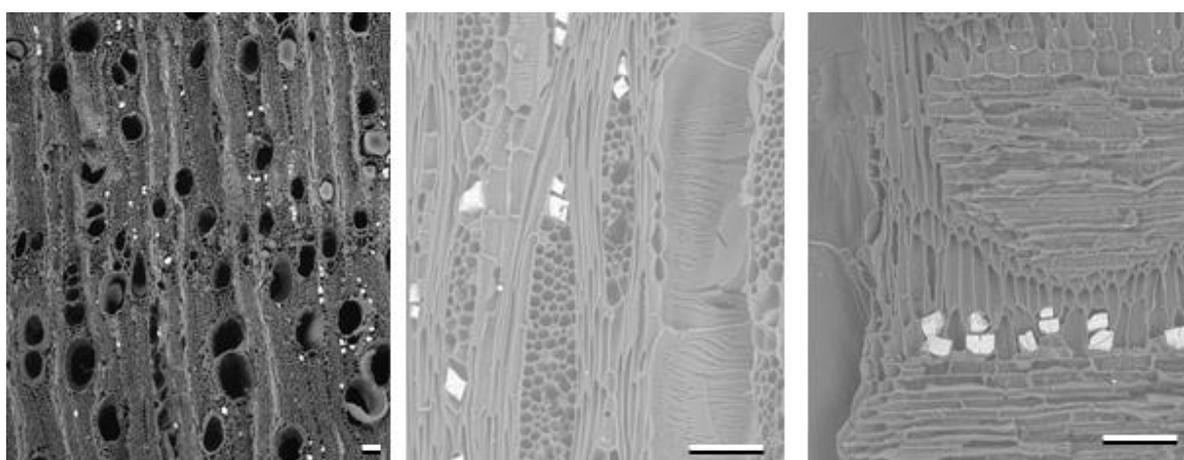


FIGURA 17 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL E LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE *Khaya nyasica*. ESCALA: 100µm.

FONTE: AUTOR (2012)

5.1.2 *Guibourtia conjugata* (Bolle) J. Léonard

Camadas de crescimento distintas pela mudança estrutural abrupta na espessura da parede das fibras. Porosidade difusa, vasos com arranjo radial, agrupamento solitário (63%), múltiplos radiais de 2 (22%), de 3 (13%) e de 4 (2%). Foram observados 30(12-62) vasos por mm², com diâmetro de 80(40-113) µm. A espécie apresenta placas de perfuração simples, pontoações intervasculares alternadas. Foram observados depósitos nos vasos. Parênquima axial vasicêntrico e em bandas acima de três células de largura.

Raios predominantemente com três células de largura, com todas as células procumbentes. Foram observados 7(5-9) raios por mm, com largura de 38(25-60) µm e altura de 303(158-454) µm. Presença de fibras não septadas. Estrutura estratificada ausente. Presença de cristais prismáticos apenas em células subdivididas do parênquima axial (em câmaras).

A caracterização anatômica do carvão vegetal de *Guibourtia conjugata* é ilustrada na FIGURA 18.

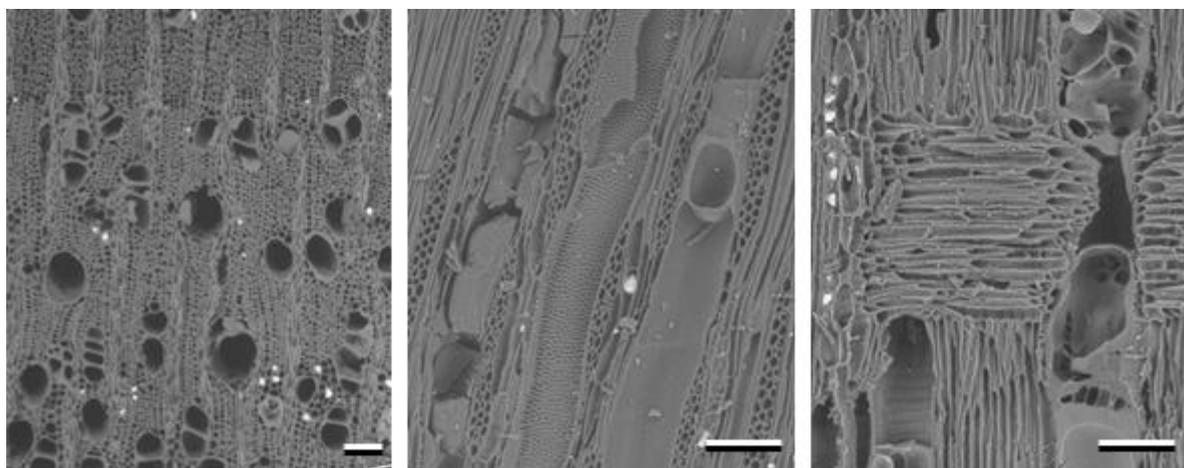


FIGURA 18 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL, LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE *Guibourtia conjugata*. ESCALA: 100µm.

FONTE: AUTOR (2012)

5.1.3 *Combretum imberbe* Wawra

Camadas de crescimento distintas por faixas de parênquima axial. Porosidade difusa, vasos em arranjo disperso, agrupamento solitário (91%) e múltiplos de 2

(9%). Foram observados 5(4-9) vasos por mm², com diâmetro de 142(91-230) µm. A espécie apresenta placas de perfuração simples, pontoações intervasculares alternas. Presença de tilos comuns nos vasos. Parênquima axial difuso, vasicêntrico, confluyente e em faixas de até três células de largura.

Raios unisseriados e eventualmente com duas células de largura e seu corpo composto principalmente de células quadradas. Foram observados 9(6-13) raios por mm, com largura de 30(20-36) µm e altura de 161(112-220) µm. As paredes das fibras foram rompidas pelo efeito da temperatura. Ausência de estrutura estratificada. Presença de grandes quantidades de cristais prismáticos em células eretas e/ou quadradas do raio.

A FIGURA 19 mostra as características anatômicas nos três planos de corte do carvão vegetal de *Combretum imberbe*.

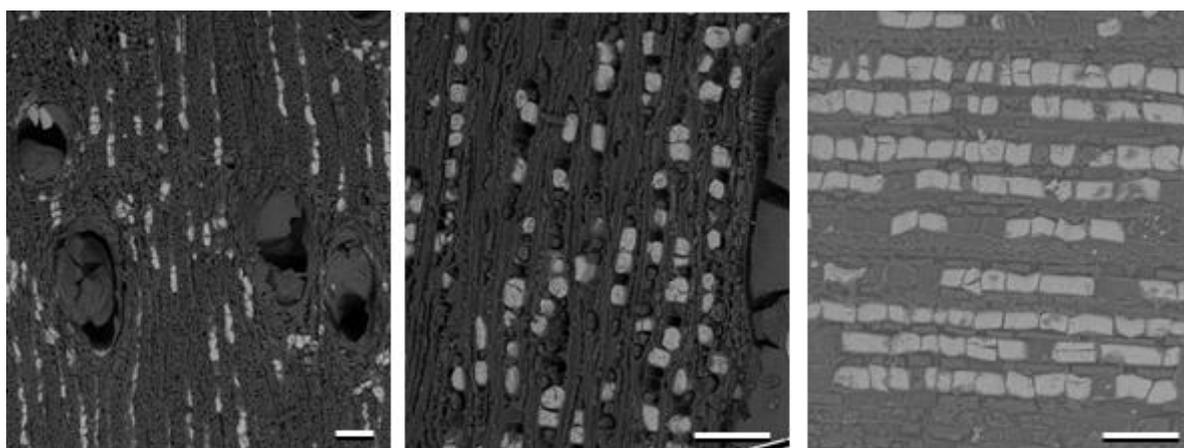


FIGURA 19 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL, LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE *Combretum imberbe*. ESCALA: 100µm.

FONTE: AUTOR (2012)

5.1.4 *Azelia quanzensis* Welw.

Camadas de crescimento com limites distintos e demarcados por faixas de parênquima axial. Vasos com porosidade difusa; arranjo geralmente em padrão não específico; agrupamento solitário (75%) e múltiplos radiais de 2 (25%). Foram observados 6(3-9) vasos por mm², com diâmetro tangencial dos vasos: 166(113-226) µm. A espécie apresenta placas de perfuração simples. Foram observados tilos comuns.

Parênquima axial vasicêntrico, confluyente, aliforme losangular e em faixas com mais de três células de largura.

Raios majoritariamente com três células de largura e ocasionalmente com duas células de largura e seu corpo composto de células procumbentes e uma fileira marginal de células quadradas. Foram observados 6(4-9) raios por mm, com largura de 48(34-62) μm e altura de 223(155-315) μm . Estrutura estratificada ausente. Presença de cristais nas células de parênquima axial.

A FIGURA 20 apresenta os três planos de corte do carvão de *Afzelia quanzensis*.

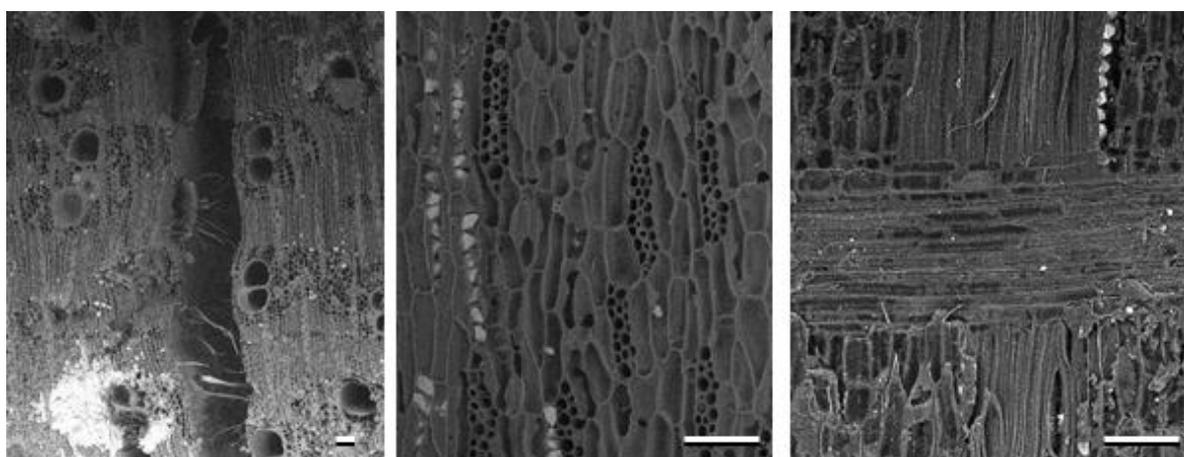


FIGURA 20 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL E LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE *Afzelia quanzensis*. ESCALA: 100 μm .

FONTE: AUTOR (2012)

5.1.5 *Dalbergia melanoxyton* Guil. & Perr

Camadas de crescimento com limites distintos e demarcados por diferenças da espessura das fibras. Vasos com porosidade difusa; arranjo geralmente em padrão não específico; vasos em agrupamento exclusivamente solitário. Foram observados 11(6-18) vasos por mm^2 , com diâmetro tangencial de 114(66-172) μm . Foram observadas presença de tiloses comuns; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternadas. Parênquima axial difuso em agregado e vasicêntrico.

Raios com porções multisseriadas e unisseriados e seu corpo composto somente de células procumbentes. Foram observados 9(6-11) raios por mm, com largura de 29(18-47) μm e altura de 156(78-242) μm . Presença de cristais

prismáticos em células de parênquima axial. Presença de raios e fibras estratificadas.

As características anatômicas do carvão vegetal de *Dalbergia melanoxylon* são ilustradas na FIGURA 21.

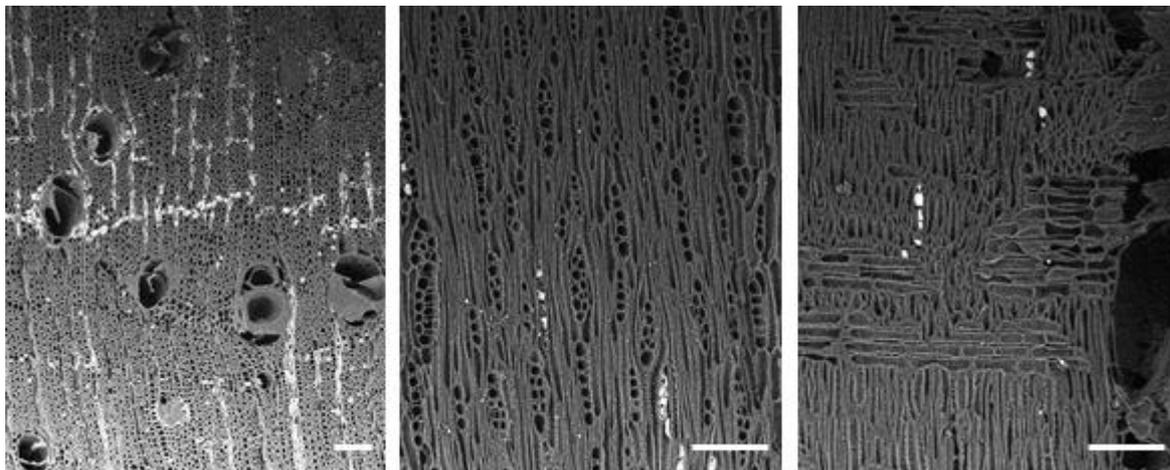


FIGURA 21 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL E LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE *Dalbergia melanoxylon*. ESCALA: 100 μ m.

FONTE: AUTOR (2012)

5.1.6 *Millettia stuhlmannii* Taub.

Camadas de crescimento com limites distintos e demarcados por faixas terminais de parênquima axial. Vasos com porosidade difusa; arranjo geralmente em padrão não específico; agrupamento solitário (83%) e múltiplos radiais de 2 (17%). Foram observados 11(4-18) vasos por mm², com diâmetro tangencial de 202(97-386) μ m. Placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternadas. Foram observados tilos comuns. Parênquima axial vasicêntrico e em faixas com mais de 3 células de largura.

Raios com duas a três células de largura e seu corpo composto somente de células procumbentes. Foram observados 6(3-9) raios por mm, com largura de 42(21-58) μ m e altura de 199(159-236) μ m. Todos os raios estratificados, parênquima axial e/ou elementos axiais irregularmente estratificados. Presença de cristais prismáticos nas células do parênquima axial.

A FIGURA 22 mostra as características anatômicas do carvão vegetal de *Millettia stuhlmannii*.

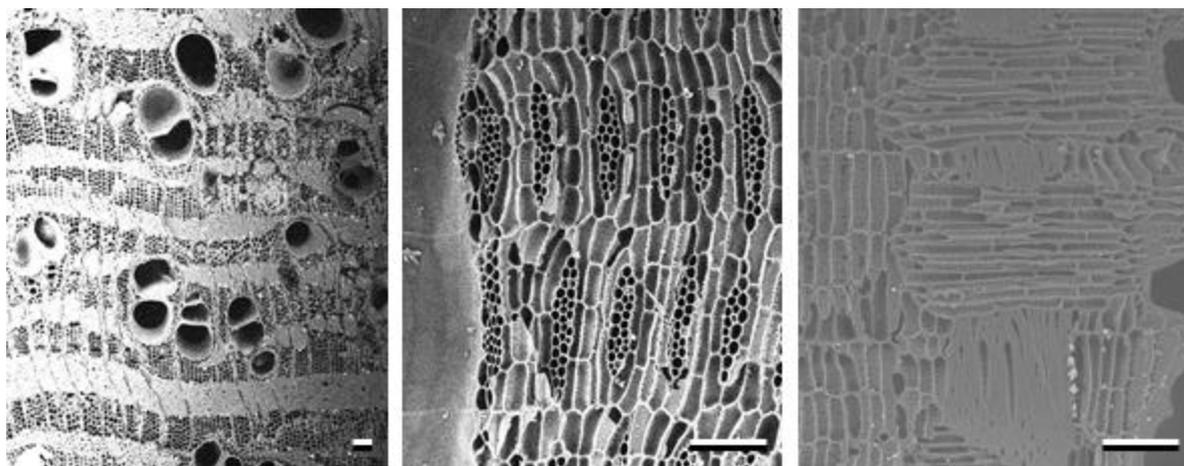


FIGURA 22 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL E LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE *Millettia stuhlmannii*. ESCALA: 100 μ m.

FONTE: AUTOR (2012)

5.1.7 *Amblygonocarpus andongensis* (Wew. ex Oliv.) Exell & Torre

Camadas de crescimento com limites distintos e demarcados por faixas terminais de parênquima axial. Vasos com porosidade difusa; arranjo geralmente em padrão não específico; agrupamento solitário (67%), múltiplos radiais de 2 (22%) e de 3 (11%). Foram observados 23(13-48) vasos por mm², com diâmetro tangencial de 116(57-180) μ m. A espécie apresenta placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternadas. Presença de depósitos nos vasos. Parênquima axial vasicêntrico e faixas com mais de três células de largura.

Raios predominantemente com duas células de largura e presença de raios unisseriados; seu corpo com mistura de células procumbentes e eretas/quadradas. Foram observados 6(4-7) raios por mm, com largura de 39(27-52) μ m e altura de 221(124-324) μ m. Ausência de estrutura estratificada. Presença de cristais prismáticos em células de parênquima axial. As características anatômicas do carvão vegetal de *Amblygonocarpus andongensis* podem ser observadas na FIGURA 23.

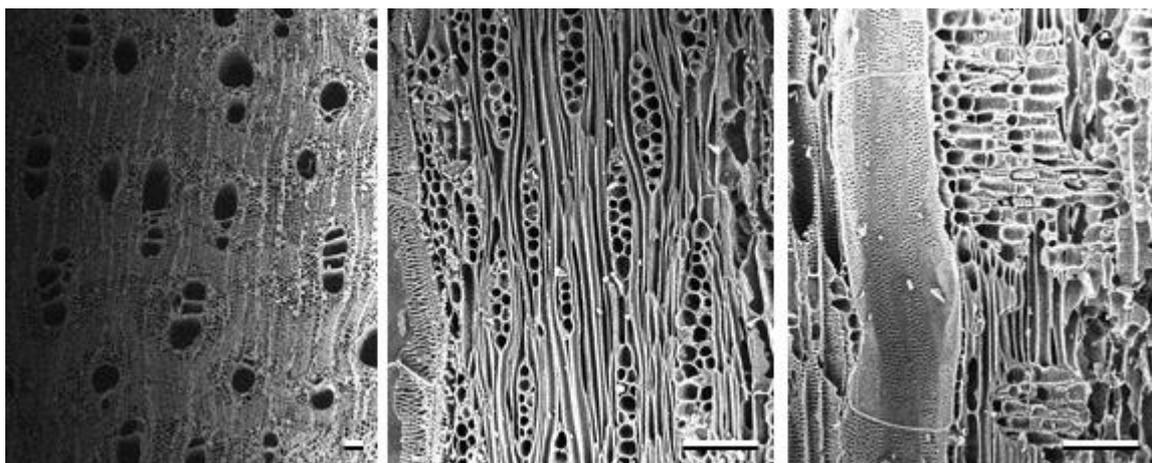


FIGURA 23 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL E LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE *Amblygonocarpus andogensis*. ESCALA: 100 μ m.

FONTE: AUTOR (2012)

5.1.8 *Pterocarpus angolensis* DC

Camadas de crescimento com limites distintos e demarcados por faixas terminais de parênquima axial. Vasos com porosidade difusa; arranjo geralmente em padrão não específico e com agrupamento exclusivamente solitários. Foram observados 9(7-11) vasos por mm², com diâmetro tangencial de 182(107-238) μ m. A espécie apresenta placas de perfuração simples e pontoações intervasculares alternadas. Foram observados depósitos nos vasos. Parênquima axial vasicêntrico e faixas com mais de três células de largura.

Raios com uma a duas células de largura e seu corpo composto somente de células procumbentes. Foram observados 10(5-14) raios por mm, com largura de 38(27-50) μ m e altura de 106(72-145) μ m. A espécie apresenta raios estratificados. Presença de cristais prismáticos nas células de parênquima axial. As características anatômicas do carvão vegetal de *Pterocarpus angolensis* podem ser observadas na FIGURA 24.

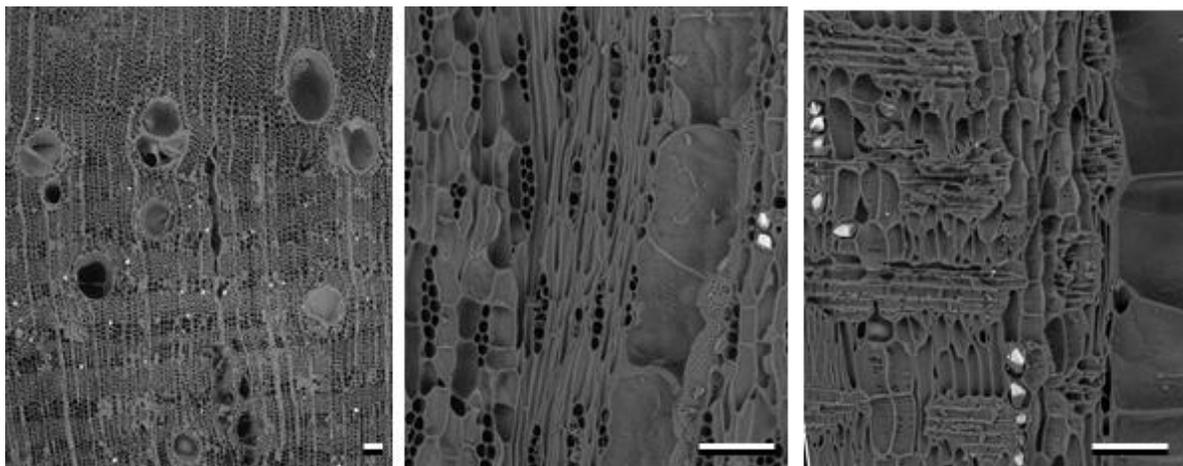


FIGURA 24 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL E LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE *Pterocarpus angolensis*. ESCALA: 100 μ m.

FONTE: AUTOR (2012)

5.1.9 *Swartzia madagascariensis* Desv.

Camadas de crescimento distintas por faixas de parênquima marginal. Porosidade difusa, vasos em arranjo disperso com agrupamento exclusivamente solitário. Foram observados 20(11-26) vasos por mm², com diâmetro de 70(51-94) μ m. A espécie apresenta placas de perfuração simples, pontoações intervasculares alternadas. Foram observados depósitos nos vasos.

Parênquima axial vasicêntrico e bandas de parênquima com mais de três células de largura.

Raios predominantemente com uma a duas células de largura e eventualmente com três células de largura. Seu corpo apresenta uma mistura de células procumbentes e quadradas. Foram observados 9(6-11) raios por mm, com largura de 28(19-41) μ m e altura de 124(90-151) μ m. Todos os raios estratificados. Presença de cristais prismáticos em células do parênquima axial.

A FIGURA 25 apresenta os três planos de corte do carvão de *Swartzia madagascariensis*

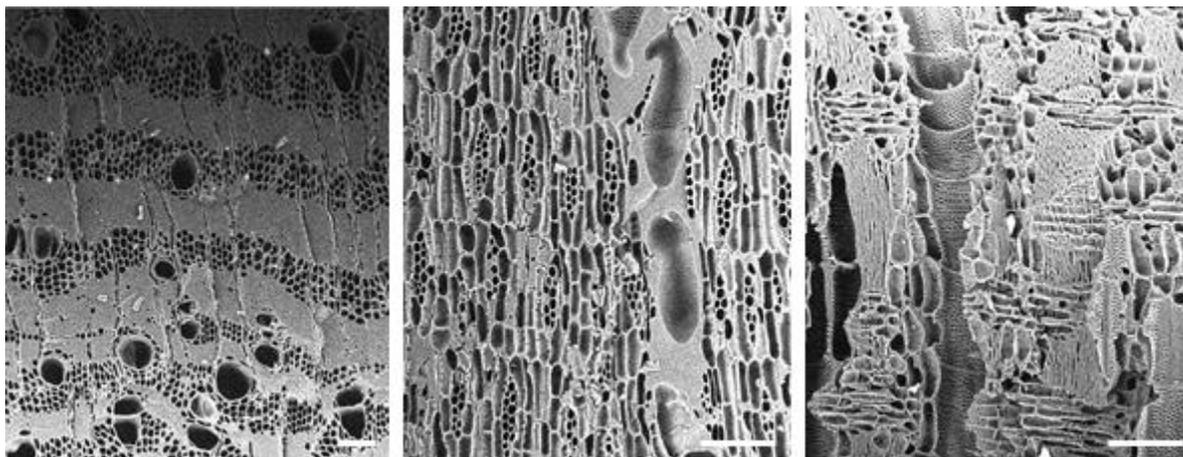


FIGURA 25 – PLANOS DE CORTE TRANSVERSAL, LONGITUDINAL TANGENCIAL E LONGITUDINAL RADIAL DO CARVÃO DE *Swartzia madagascariensis*. ESCALA: 100µm.

FONTE: AUTOR (2012)

A **TABELA 13** apresenta o resumo das principais características anatômicas qualitativas das nove espécies avaliadas no presente trabalho.

TABELA 13 – RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS QUALITATIVAS DO CARVÃO DE NOVE ESPÉCIES.

ESPÉCIE	CC	TILOS	OD	PP	PI	PARÊNQUIMA AXIAL	SR	TR	EE	IM
<i>Khaya nyasica</i>	√	-	√	Simples	Alternas	Vasicêntrico e escasso	2-5	C	ausente	√
<i>Guibourtia conjugata</i>	√	-	√	Simples	Alternas	Vasicêntrico e em bandas	3	A	ausente	√
<i>Combretum imberbe</i>	√	√	-	Simples	Alternas	Vasicêntrico, confluyente, em bandas e difuso	1-2	D	ausente	√
<i>Azelia quanzensis</i>	√	√	-	Simples	-	Vasicêntrico, confluyente, aliforme losangular e em bandas	2-3	B	ausente	√
<i>Dalbergia melanoxylon</i>	√	-	-	Simples	Alternas	Vasicêntrico e difuso em agregado	1-2	A	raios, fibras	√
<i>Millettia stuhlmannii</i>	√	-	√	Simples	Alternas	Em bandas e vasicêntrico	2-3	A	raios, fibras	√
<i>Amblygonocarpus andogensis</i>	√	-	√	Simples	Alternas	Vasicêntrico e em bandas	1-2	D	ausente	√
<i>Pterocarpus angolensis</i>	√	-	√	Simples	Alternas	Vasicêntrico e em bandas	1-2	A	raios	√
<i>Swartzia madagascariensis</i>	√	-	√	Simples	Alternas	Vasicêntrico e em bandas	1-2	D	raios	√

FONTE: AUTOR (2012)

Legenda:

CC – camadas de crescimento

OD – outros depósitos

PP – placas de perfuração

PI – pontoações intervasculares

SR – seriação dos raios

TR – tipo de raios

EE – estrutura estratificada

IM – inclusão de minerais

Tipo de raios

A – todas as células procumbentes

B – corpo formado por células procumbentes e 1 fileira marginal de células eretas e/ou quadradas

C – corpo formado por células procumbentes e 2-4 fileira marginal de células eretas e/ou quadradas

D – células procumbentes, eretas e quadradas misturadas.

Os resultados deste trabalho mostram que o carvão das nove espécies estudadas apresentaram quatro características anatômicas em comum: presença de camadas de crescimento, porosidade difusa, placas de perfuração simples e presença de cristais prismáticos. No caso da presença de cristais prismáticos, importa referir que estes foram observados nas células de parênquima axial de *Pterocarpus angolensis*, *Millettia stuhlmannii*, *Dalbergia melanoxylon*, *Afzelia quanzensis*, *Guibourtia conjugata*, *Amblygonocarpus andogensis* e *Swartzia madagascariensis*. Porém, para o caso de *Khaya nyasica*, os cristais foram observados nas células do raio e das fibras, enquanto que para *Combretum imberbe* estes foram observados apenas nas células dos raios.

O carvão de *Khaya nyasica* apresentou vasos com arranjo disperso, corpo do raio composto por células procumbentes e duas fileiras marginais de células eretas e/ou quadradas, raios com células de largura que variam de dois a cinco e presença de cristais prismáticos em células eretas/quadradas do raio e nas fibras. Excetuando o arranjo disperso que também foi observado na espécie *C. imberbe* e *S. madagascariensis*, as outras duas características foram apenas observadas nas amostras de *K. nyasica*.

O fato de *C. imberbe* apresentar 91% de vasos solitários, raios unisseriados e ocasionalmente com duas células de largura, marcou a diferença com as restantes oito espécies estudadas. Estas duas características também foram observadas por METCALFE; CHALK (1950), e constam na base de dados do INSIDE WOOD. Importa ainda referir que *P. angolensis*, *S. madagascariensis* e *D. melanoxylon* foram as únicas das nove espécies que apresentaram vasos exclusivamente solitários.

A base de dados do INSIDE WOOD menciona a presença de gomas nos vasos do lenho da espécie *C. imberbe*. No entanto, neste trabalho observou-se a presença de tilos comuns nos vasos do carvão desta espécie. METCALFE; CHALK (1950), também reporta a existência de tiloses abundantes na família Combretaceae.

As paredes das fibras do carvão de todas as espécies em estudo estavam destruídas. MCGINNIS *et al.* (1971); KIM; HANNA (2006), quando estudaram *Quercus alba* L. e *Q. variabilis* BL. respetivamente, também observaram paredes de

fibras destruídas, tendo explicado que este efeito deveu-se às tensões criadas pelo efeito de temperaturas acima de 400°C. PRIOR; ALVIN (1983), que avaliaram mudanças anatômicas derivadas ao incremento da temperatura nas madeiras de *Dichrostachys cinera* (leguminosae) e *Salix subserrata* (Salicaceae), constataram que a partir de 300°C as paredes celulares começaram a adquirir características amorfas do carvão, embora a linha da lamela média e da parede primária poderiam ainda ser discernidas. KWON *et al.* (2009), que trabalhou com *Quercus variabilis*, constatou que a partir de 350°C já não era possível observar as paredes das células das fibras.

Quanto à estratificação das estruturas, constatou-se que *K. nyasica*, *G. conjugata*, *C. imberbe*, *A. quanzensis* e *A. andogensis* apresentaram ausência da estrutura estratificada. No entanto, *D. melanoxylon*, *S. madagascariensis*, *P. angolensis* e *M. stuhlmannii* apresentaram raios estratificados. Para além da estratificação dos raios, *D. melanoxylon* apresentou também fibras estratificadas.

Os dados sobre as principais características anatômicas quantitativas das nove espécies avaliadas no presente trabalho estão resumidos na **TABELA 14**.

TABELA 14 – RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS QUANTITATIVAS DO CARVÃO DE NOVE ESPÉCIES.

ESPÉCIE	FV (nr/mm ²)	DTV (µm)	FR (nr/mm)	LR (µm)	AR (µm)
<i>Khaya nyasica</i>	20 (13-32) n = 190	127 (42-202) n=25, sd=40	4 (2-9), n=25	83 (41-148) n=25, sd=21	426 (297-686) n=25, sd =106
<i>Guibourtia conjugata</i>	30 (12-62) n = 593	80 (40-113) n=25, sd=18	7 (5-9), n=25	38 (25-60) n=25, sd=7	303 (158-454) n=25, sd=76
<i>Combretum imberbe</i>	5 (4-9) n = 87	142 (91-230) n=25, sd=31	9 (6-13), n=25	30 (20-36) n=25, sd=5	161 (112-220) n=25, sd=38
<i>Afzélia quanzensis</i>	6 (3-9) n = 124	166 (113-226) n=25, sd=25	6 (4-9), n=25	48 (34-62) n=25, sd=8	223 (155-315) n=25, sd=39
<i>Dalbergia melanoxylon</i>	11 (6-18) n = 166	114 (66-172) n=25, sd=33	9 (6-11), n=25	29 (18-47) n=25, sd=8	156 (78-242) n=25, sd=47
<i>Millettia stuhlmannii</i>	11 (4-18) n = 191	202 (97-386) n=25, sd=72	6 (3-9), n=25	42 (21-58) n=25, sd=10	199 (159-236) n=25, sd=25
<i>Amblygonocarpus andogensis</i>	23 (13-48) n = 338	116 (57-180) n=25, sd=32	6 (4-7), n=25	39 (27-52) n=25, sd=5	221 (124-234) n=25, sd=45
<i>Pterocarpus angolensis</i>	9 (7-11) n = 87	182 (107-238) n=25, sd=39	10 (5-14), n=25	38 (27-50) n=25, sd=7	106 (72-145) n=25, sd=16
<i>Swartzia madagascariensis</i>	20 (11-26) n = 175	70 (51-94) n=25, sd	9 (6-11), n=25	28 (19-41) n=25, sd=5	124 (90-151) n=25, sd=15

FONTE: AUTOR (2012)

Legenda:

FV – frequência dos vasos
 DTV – diâmetro tangencial dos vasos
 FR – frequência dos raios
 LR – largura dos raios

AR – altura dos raios

Para OLIVEIRA *et al.* (1982), densidade verdadeira do carvão é a relação entre seu peso com o volume do recipiente que contem o carvão. Ao volume do recipiente deverá ser descontado o volume da porosidade interna. O mesmo autor refere que a densidade do carvão vegetal tem uma grande importância na sua caracterização, pois as propriedades do carvão vegetal estão intimamente ligadas com sua densidade.

O número de vasos por mm², o diâmetro tangencial dos vasos e o comprimento dos vasos do carvão de cada espécie podem ajudar a estimar a densidade verdadeira do carvão. *Millettia stuhlmannii*, *Khaya nyasica*, *Amblygonocarpus andogensis* e *Pterocarpus angolensis* tiveram maior percentual de áreas ocupadas pelos vasos no plano transversal: 45%, 32%, 31% e 30%, respectivamente. Estes dados provavelmente indicam que carvões destas espécies apresentam densidades menores. No caso de *Guibourtia conjugata*, *Afzelia quanzensis*, *Dalbergia melanoxylon*, *Combretum imberbe* e *Swartzia madagascariensis* que tiveram menor percentual de área ocupada pelos vasos no plano transversal: 19%, 17%, 14%, 10% e 10%, respectivamente, pressupõe-se que os carvões destas espécies apresentem maior densidade.

UETIMANE *et al.* (2009), que estudaram a anatomia da madeira de três espécies nativas de Moçambique: *Pericopsis angolensis*, *Pseudolachnostylis maprounaefolia* e *Sterculia appendiculata*, encontraram uma relação entre a faixa do diâmetro tangencial, o percentual ocupado pelas paredes das fibras, com a densidade da madeira. Concretamente constataram que menores faixas de diâmetro tangencial aliada ao maior percentual de parede das células das fibras justificavam maiores densidades na *Pseudolachnostylis maprounaefolia* e *Pericopsis angolensis* quando comparado com *Sterculia appendiculata*.

O elevado percentual de células de parênquima também pode sugerir baixa densidade da madeira (UETIMANE *et al.*, 2009). No caso do presente estudo, o carvão de *Khaya nyasica* teve maior área ocupada por parênquima radial: 35,358 µm². Este resultado fortifica ainda mais a ideia de que o carvão de *K. nyasica* faz parte do grupo de carvões com menor densidade. Depois desta espécie, carvões de *Guibourtia conjugata* e *Afzelia quanzensis* são os que apresentaram maiores valores de área ocupada por parênquima radial: 11.514 µm² e 10.704 µm², respectivamente.

Contudo, não se pode concluir que o carvão destas duas espécies também apresentam valores menores de densidade, uma vez que os espaços ocupados pelos vasos são menores, o que sugere densidades de carvão elevadas.

5.2 Alterações induzidas pelo aquecimento da madeira

Na TABELA 15 são apresentados os valores de perda de massa registrada nas amostras por espécie. Este efeito deveu-se ao aumento de temperatura até o máximo de 450°C no forno mufla.

TABELA 15 – PERDA DE MASSA DAS AMOSTRAS DEVIDO A CARBONIZAÇÃO DURANTE UMA HORA.

ESPÉCIE	PERDA DE MASSA (%)
<i>Afzelia quanzensis</i>	70,17
<i>Millettia stuhlmannii</i>	59,73
<i>Pterocarpus angolensis</i>	66,84
<i>Dalbergia melanoxylon</i>	59,83
<i>Swartzia madagascariensis</i>	64,59
<i>Amblygonocarpus andogensis</i>	61,30
<i>Khaya nyasica</i>	68,45
<i>Combretum imberbe</i>	59,95
<i>Guibourtia conjugata</i>	62,59

FONTE: AUTOR (2012)

STAMM, *et al.* (1946); TJEERDSMA *et al.* (1998); ESTEVES & PEREIRA, (2009), foram unânimes em afirmar que quando a madeira é exposta a temperaturas elevadas, a água e os extrativos são retirados para o ar ocasionando a perda de massa das amostras. Com certeza esta situação aconteceu neste estudo o que pode justificar a perda de massa das amostras na ordem de 59,83 a 70,17% (Tabela 13). POLETTO *et al.* (2012) explicou que a degradação da lignina, celulose e hemicelulose, bem como a volatilização da água e dos extrativos são os principais fenômenos que justificam a perda de massa verificada na madeira após ser submetida a elevadas temperaturas.

Aliada à perda de massa, constatou-se que as amostras de *Afzelia quansensis*, *Guibourtia conjugata*, *Amblygonocarpus andogensis*, *Dalbergia melanoxylon* e *Swartzia madacascariensis* apresentaram fendas de retração. No entanto, estas fendas não foram observadas nas amostras de *Pterocarpus angolensis*, *Millettia stuhlmannii*, *Khaya nyasica* e *Combretum imberbe* (FIGURA 26).

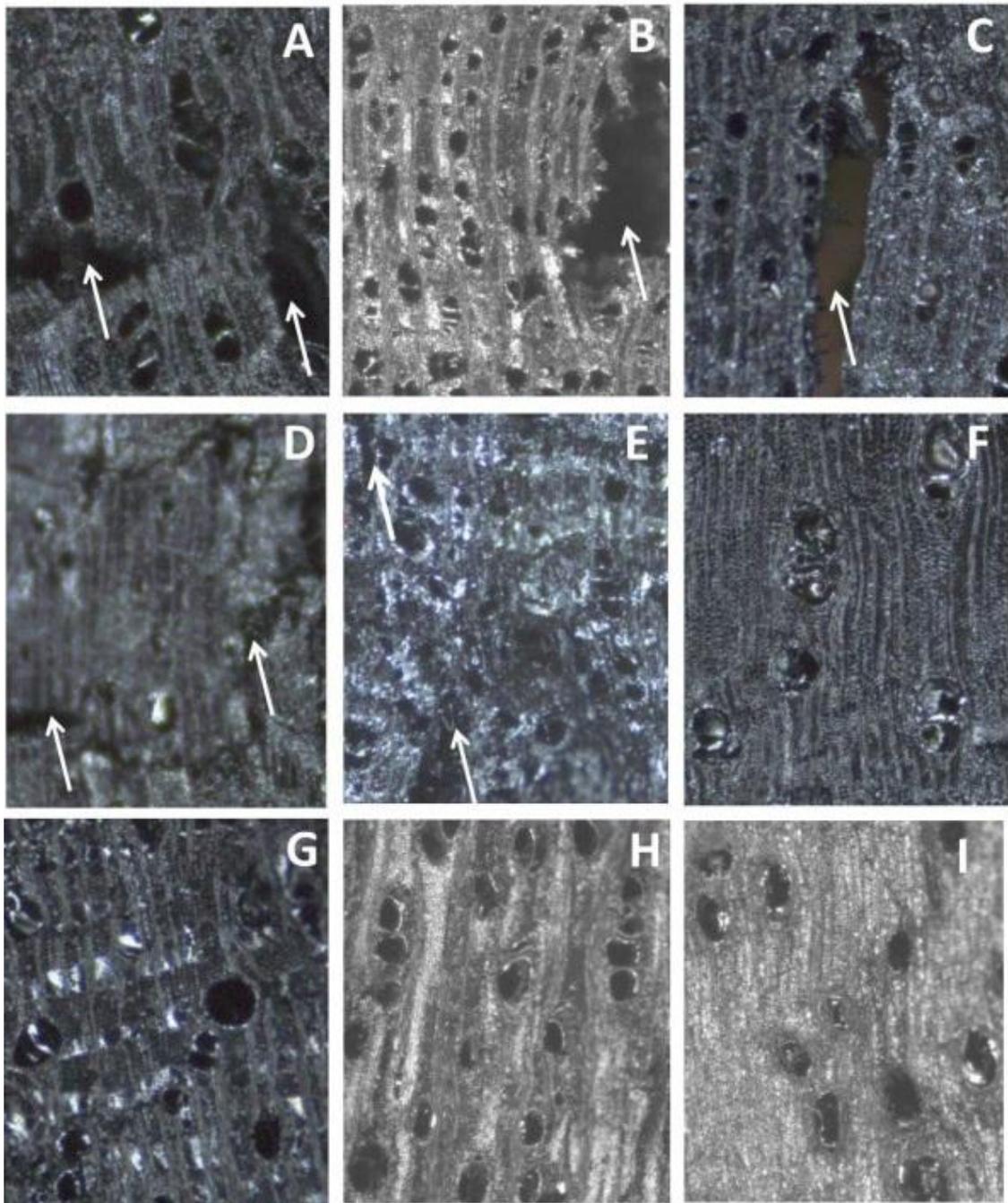


FIGURA 26 – PLANO DE CORTE TRANSVERSAL DE MADEIRA CARBONIZADA A 450°C. A – *Azelia quanzensis*, B – *Guibourtia conjugata*, C – *Amblygonocarpus andogensis*, D – *Dalbergia melanoxydon*, E – *Swartzia madagascariensis*, F – *Pterocarpus angolensis*, G – *Millettia stuhlmannii*, H – *Khaya nyasica*, I – *Combretum imberbe*.

FONTE: AUTOR (2012)

Como se pode observar na FIGURA 26, apenas *Dalbergia melanoxydon* apresentou fendas de retração orientadas no sentido paralelo e perpendicular aos

raios. As outras espécies apenas apresentaram fendas orientadas no sentido dos raios.

Quando a madeira é exposta a temperaturas elevadas, seus principais constituintes: celulose, hemicelulose e lignina degradam-se. Para além deste fenômeno químico que é explicado pela quebra de ligações entre os átomos de carbono com os de hidrogênio e oxigênio, vários fenômenos físicos podem ocorrer. Destaca-se a mudança de cor com tendência para a cor escura, perdas de massas e a ocorrência de fissuras (STAMM, 1956; KOCAEFE *et al.* 2007; SEBIO-PUÑAL *et al.* 2012).

Para além da perda de massa e do escurecimento das amostras carbonizadas, observaram-se fissuras em algumas amostras de carvão (FIGURA 26). KWON *et al.* (2009) que pesquisou a transição das características das células da madeira de *Quercus variabilis* durante a carbonização constatou que o colapso da madeira depende da temperatura. Os mesmos autores referiram que a partir de 400°C a madeira começa a colapsar.

No entanto, a quantidade de fissuras também é influenciada pelo teor de umidade inicial, pois a retirada da água gera tensões internas que contribuem para o aumento de número de fissuras (THUVANDER; BERGLUND, 2000; THÉRY-PARISOT; HENRY, 2012).

Por outro lado, a diferença da densidade entre o lenho tardio e inicial proporciona uma boa rigidez à ocorrência de fissuras (THUVANDER; BERGLUND 2000).

A umidade das amostras e a diferença da densidade entre o lenho tardio e inicial podem ter influenciado os resultados deste estudo, pois apesar das amostras das nove espécies terem sido submetidas a uma temperatura máxima de 450°C, constatou-se que não foi possível observar fissuras nas amostras de *Pterocarpus angolensis*, *Millettia stuhlmannii*, *Khaya nyasica* e *Combretum imberbe* (FIGURA 26).

5.3 Análise das propriedades do carvão vegetal

A TABELA 16 apresenta algumas propriedades do carvão vegetal das espécies em estudo. Os valores percentuais do teor de voláteis foram determinados a partir da base seca.

TABELA 16 – PROPRIEDADES DO CARVÃO VEGETAL.

ESPÉCIE	TEOR DE UMIDADE (%)	TEOR DE CINZAS (%)	TEOR DE VOLÁTEIS (%)	CARBONO FIXO (%)	PODER CALORÍFICO SUPERIOR (MJ/kg)
<i>Afzelia quanzensis</i>	3,65	9,26	19,80	70,94	26,40
<i>Millettia stuhlmannii</i>	3,63	2,23	18,50	79,27	29,00
<i>Pterocarpus angolensis</i>	3,20	1,58	20,30	78,12	30,80
<i>Dalbergia melanoxylon</i>	4,80	3,60	19,50	76,90	29,00
<i>Swartzia madagascariensis</i>	3,70	1,05	20,90	78,05	30,20
<i>Amblygonocarpus andogensis</i>	4,24	1,28	19,50	79,22	30,40
<i>Khaya nyasica</i>	4,57	3,40	25,50	71,10	28,90
<i>Combretum imberbe</i>	3,73	16,19	25,50	58,31	21,90
<i>Guibourtia conjugata</i>	4,49	3,10	18,40	78,50	29,00

FONTE: AUTOR (2012)

Como foi previamente mencionado, o poder calorífico foi determinado através da bomba calorimétrica. Os valores obtidos através deste método se referem ao poder calorífico superior (PCS). Este indicador não inclui a energia necessária para a evaporação da água que se encontra no combustível.

Os valores médios do poder calorífico do carvão variaram de 21,90 MJ/Kg a 30,80 MJ/Kg. *Combretum imberbe* foi a espécie que apresentou o menor valor, enquanto que *Pterocarpus angolensis* apresentou o maior valor.

A qualidade de um combustível depende das propriedades básicas do seu material (KUMAR *et al.*, 2011). O poder calorífico é bastante utilizado para avaliar a qualidade de qualquer tipo de combustível. Este parâmetro, expressa a quantidade de energia existente no combustível em função de sua massa (NÚÑEZ-REGUEIRA *et al.*, 1997; CIOLKOSZ, 2010).

Existem vários fatores que afetam os valores do poder calorífico. De acordo com KAISER (1966); BRAND (2010), o teor de umidade de um combustível é um dos fatores que influencia os valores de poder calorífico inferior. Quanto maior for a quantidade de umidade menor será o valor do poder calorífico inferior, uma vez que certa quantidade de calor é utilizada na evaporação da umidade contida no combustível. No caso deste estudo acredita-se que este fator teve pouca influencia, pois as amostras de carvão apresentaram valores de teor de umidade na faixa de 3,2 a 4,8%. Estudos efetuados por ROUSSET *et al.* (2011) demonstraram que o aumento de 0 a 15,5% de umidade provocou uma redução do rendimento de

carbono fixo na ordem de 2,1%, o que fez reduzir o poder calorífico superior de 20,98 para 20,88 MJ/kg.

O aumento do percentual de carbono fixo provoca um incremento dos valores do poder calorífico. No entanto, o material volátil e o teor de cinzas apresentaram uma tendência oposta ao do carbono fixo. Resultados semelhantes também foram obtidos por PETROFF; DOAT (1978) que estudaram a carbonização de espécies tropicais. VALE *et al.* (2002) que estudaram o poder calorífico superior do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*, também encontraram resultados semelhantes.

A cinza é constituída basicamente por minerais incrustados na madeira. De acordo com KAISER (1966), estes minerais são considerados materiais inertes e, portanto, o maior percentual de cinza, pode contribuir para reduzir o valor de poder calorífico, já que esta ocupará o espaço que teoricamente seria ocupado pelos constituintes da madeira.

No caso do presente estudo, *Combretum imberbe* que apresentou o maior teor de cinzas (16.19%) e o menor valor de carbono fixo (58.31%), foi a espécie que apresentou o menor poder calorífico (21,90 MJ/kg). O maior percentual de teor de cinzas observado no *C. imberbe* deveu-se à presença de grandes quantidades de cristais prismáticos observados nas células dos raios do carvão desta espécie (FIGURA 19).

A **TABELA 17** apresenta valores de poder calorífico superior das espécies em estudo e dos gêneros *Acacia*, *Albizia*, *Sclerocarya* e *Eucalyptus*.

TABELA 17 – VALORES DE PODER CALORÍFICO SUPERIOR DE DIFERENTES ESPÉCIES FLORESTAIS.

ESPÉCIE	PODER CALORÍFICO SUPERIOR (MJ/kg)	PRODUTO	REFERÊNCIA
<i>Azelia quanzensis</i>	26,40	Carvão	AUTOR, (2012)
<i>Millettia stuhlmannii</i>	29,00	Carvão	AUTOR, (2012)
<i>Pterocarpus angolensis</i>	30,80	Carvão	AUTOR, (2012)
<i>Dalbergia melanoxylon</i>	29,00	Carvão	AUTOR, (2012)
<i>Swartzia madagascariensis</i>	30,20	Carvão	AUTOR, (2012)
<i>Amblygonocarpus andogensis</i>	30,40	Carvão	AUTOR, (2012)
<i>Khaya nyasica</i>	28,90	Carvão	AUTOR, (2012)
<i>Combretum imberbe</i>	21,90	Carvão	AUTOR, (2012)
<i>Guibourtia conjugata</i>	29,00	Carvão	AUTOR, (2012)
<i>Acácia spp.</i>	18,95	Madeira	MADEBRAS (1982)
<i>Acacia spp.</i>	28,50	Carvão	YATIM; HOI (1987)
<i>Acacia auriculaeformis</i>	19,34	Madeira	KUMAR <i>et al.</i> (2011)
<i>Acacia nilótica</i>	19,59	Madeira	KATAKI; KONWER (2002)
<i>Albizia versicolor</i>	18,48	Madeira	MADEBRAS (1982)
<i>Albizia lebbek</i>	18,91	Madeira	KATAKI; KONWER (2002)
<i>Sclerocarya caffra</i>	20,49	Madeira	MADEBRAS (1982)
<i>Eucalyptus grandis</i>	30,24	Carvão	ROUSSET <i>et al.</i> (2011)
<i>Eucalyptus pellita</i>	34,43	Carvão	OLIVEIRA, <i>et al.</i> (2010)
<i>Eucalyptus globulus</i>	19,07	Madeira	LEMENIH; BEKELE (2004)
<i>Eucalyptus saligna</i>	19,12	Madeira	LEMENIH; BEKELE (2004)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	18,46	Madeira	DUKE (1983)
<i>Eucalyptus teretecornis</i>	17,75	Madeira	DUKE (1983)

ROUSSET *et al.* (2011) estudaram a qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* obtido a 450°C de temperatura máxima de carbonização. Eles encontraram valores de poder calorífico superior que variaram de 30,21 até 31,57 MJ/kg. OLIVEIRA, *et al.* (2010) analisaram os parâmetros de qualidade do carvão vegetal de *E. pellita* em função de diferentes marchas de carbonização, tendo encontrado valores de poder calorífico superior na ordem de 33,59 a 34,88 MJ/kg.

Estudo sobre poder calorífico da madeira de *E. globulus* e *E. saligna* em função de diferentes idades obteve valores que variam de 18,78 a 19,36 MJ/kg e 18,991 a 19,255 MJ/kg, respectivamente (LEMENIH; BEKELE, 2004). Madeira de *E. camaldulensis* e *E. teretecornis* apresentaram valores de poder calorífico de 18,52 e 18,63 MJ/kg, respectivamente (DUKE, 1983).

YATIM; HOI (1987) avaliaram carvões do gênero *Acacia* tendo apresentado valor médio do poder calorífico na ordem de 28,45 MJ/kg. KUMAR *et al.* (2011) trabalharam com madeira de *Acacia auriculaeformis* com idades compreendidas entre dois a seis anos, tendo constatado que seu poder calorífico variou de 19,030 a 19,61 MJ/Kg.

Pesquisa sobre as características do combustível lenhoso de espécies nativas do noroeste da Índia mostrou que madeiras de *Acacia nilotica* e *Albizia lebbek* apresentam valores de poder calorífico na ordem de 19,50 a 19,67 MJ/kg e 18,79 a 19,00 MJ/kg, respectivamente (KUMAR *et al.* (2011).

Em geral, o poder calorífico do carvão vegetal de uma determinada espécie é superior ao da madeira da mesma espécie (ANTAL; GRØNLI 2003; OYEDUN *et al.* 2012). Com certeza o carvão produzido por madeiras de *E. globulos*, *E. saligna*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *A. auriculaeformis*, *Acacia nilotica* e *Albizia lebbek* teriam valores superiores aos encontrados na madeira.

GNANAHARAN *et al.* (1988) concluiu que para efeitos energéticos, o carvão de boa qualidade deve conter o mínimo de 75% de carbono fixo. No entanto a faixa do teor de voláteis desejável para seu uso doméstico deverá atingir o limite máximo de 30% (FAO, 1987; GNANAHARAN *et al.* 1988). Pesquisa efetuada com carvão de *Eucalyptus grandis* mostrou que quanto maior for o carbono fixo de um combustível maior será o seu poder calorífico (ROUSSET *et al.* 2011). O mesmo autor concluiu que os valores de poder calorífico que variam de 29,31 a 33, 50 MJ/kg são considerados os ideais para efeitos energéticos.

Excetuando carvão de *Combretum imberbe* que apresentou 58,31% de carbono fixo, todas as outras oito espécies de alto valor comercial apresentaram valores de carbono fixo na faixa de 70,94 a 79,27%. Os valores do teor de voláteis situaram-se na faixa de 18,4 a 25,5%.

Carvão produzido com madeira do gênero *Acacia* apresentou 77% de carbono fixo e 20% de materiais voláteis (YATIM; HOI, 1987). Estudos efetuados por OLIVEIRA, *et al.* (2010) mostraram que o carvão produzido com madeira de *Eucalyptus pellita* apresentaram valores de carbono fixo na faixa de 83,17 a 88,17% e material volátil que variou de 9,71 a 14,65%. Estas constatações mostram que carvões de espécies com menor valor comercial apresentam valores de carbono fixo e teores de materiais voláteis desejáveis para o uso doméstico.

De fato, a exploração de espécies com madeiras nobres para efeitos de energia constitui um grande desperdício. TECHNICAL CENTRE FOR AGRICULTURAL AND RURAL COOPERATION (2009) menciona que a madeira de *Dalbergia melanoxylon* possui excelentes qualidades para a produção de instrumentos musicais de sopro, chegando a ser comercializada a 25.000 USD/m³.

Os resultados apresentados por ROUSSET *et al.* (2011); OLIVEIRA, *et al.* (2010); KUMAR *et al.* (2011), mostram claramente que madeiras pertencentes a classes comerciais inferiores possuem um potencial energético equivalente a madeiras mais nobres.

De acordo com MARZOLI (2007), o gênero *Acacia* com destaque para *A. nilotica* ocorre em quase toda extensão do território moçambicano e apresenta volumes comerciais disponíveis. Apesar da *Albizia lebbek* não ser nativa de Moçambique, é considerada uma espécie já naturalizada neste país (WILLIAMS *et al.*, 2008). Todas as espécies do gênero *Acacia* que ocorrem em Moçambique: *A. albida*, *A. burkei*, *A. erioloba*, *A. karoo*, *A. nilotica*, *A. polyacantha*, *A. robusta*, *A. Senegal*, *A. sieberana*, *A. tortilis* e *A. xanthophlea* (MARZOLI, 2007) pertencem à lista das espécies autorizadas pela Legislação Florestal para o uso energético.

Ensaio de procedência realizados com material genético de *E. camaldulensis* e *E. tereticornis* mostraram que estas duas espécies apresentaram um grande potencial para se desenvolverem em Moçambique (BILA; ISSUFO (1994).

Perante este cenário, fica claro que existe um potencial energético nas espécies do gênero *Acacia*, *Albizia*, *Sclerocarya* e *Eucalyptus*. A divulgação deste conhecimento junto aos carvoeiros poderá diminuir a pressão sobre as espécies mais valorizadas. Até porque o uso diversificado das espécies poderá minimizar o risco de extinção de espécies mais procuradas no mercado.

6. CONCLUSÕES

- A técnica da antracologia mostrou-se viável como ferramenta para o sistema de fiscalização;
- A implementação desta técnica poderá minimizar a pressão sobre os recursos florestais, contribuindo deste modo para a sustentabilidade das florestas naturais;
- As alterações anatômicas não prejudicaram a discriminação das espécies;
- Os resultados indicam que existe a possibilidade de uso de espécies alternativas para a produção de carvão vegetal em Moçambique.

7. RECOMENDAÇÕES

- A implementação da técnica da Antracologia como ferramenta de fiscalização em Moçambique;
- A instalação de uma antracoteca com carvões de referência, aquisição de microscópio de luz refletida e lupas de mão, a elaboração de um catálogo tecnológico como ferramentas de viabilização da fiscalização do carvão.
- Avaliar a eficiência da técnica em carvão produzido em temperaturas mais elevadas;
- Desenvolver pesquisas para utilização de espécies alternativas;
- Recomenda-se ainda a implementação de um programa socioeconômico e ambiental com soluções alternativas para as populações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, C. M. I.; GONCALVES, Y. M. M.; UETIMANE, E. **Avaliação da quantidade de lenha necessária para a produção de carvão na Província de Cabo Delgado**. Pemba, 2009.

ALBERTO, M. M. M. **A contribuição do sector florestal e faunístico para a economia do país**. Maputo, 2006.

ALLIED WORLD RESOURCES. Allied World Resources - Purpleheart Lumber. Disponível em: <<http://www.alliedworldresources.com/lumber.html>>. Acesso em: 2/10/2012.

ALLUÉ, E. **Dinámica de la vegetación y explotación del combustible leñoso durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno del Noreste de la Península Ibérica a partir del análisis antracológico**, 2002. Universitat Rovira i Virgili.

ANTAL, M. J.; GRØNLI, M. The Art, Science, and Technology of Charcoal Production. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 42, n. 8, p. 1619-1640, 2003. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie0207919>>. .

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8112: Carvão vegetal - Análise imediata**. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8633: Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico - método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1984.

AYENSU, E. S.; BENTUM, A. **Commercial timbers of west África**. Whashington, 1974.

BEALL, F. C; EICKNER, W. J. **Thermal degradation of wood components, a review of the literature**. Washington, 1970.

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

BILA, A. **Estratégia para a Fiscalização Participativa de Florestas e Fauna Bravia em Moçambique**. 2005.

BILA, A.; ISSUFO, A. A. . Teste de procedência de Eucalyptus camaldulensis na região norte e sul de Moçambique. **IPEF**, , n. 47, p. 50-55, 1994.

BRAADBAART, F. **Carbonization of peas and wheat. A laboratory study**. The Netherlands, 2004.

BRAADBAART, F.; POOLE, I. Morphological, chemical and physical changes during charcoalification of wood and its relevance to archaeological contexts. **Journal of Archaeological Science**, v. 35, n. 9, p. 2434-2445, 2008. Disponível em:

<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305440308000575>>. Acesso em: 23/7/2012.

BRAND, M. A. Influência da época de colheita da biomassa florestal sobre sua qualidade para a geração de energia Influence of the harvest season over the quality of wood fuel. **Scientia Forestalis (IPEF)**, v. 38, p. 619-628, 2010.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS. **Anais...** p.101-137, 1982. São Paulo.

BROUWER, R.; FALCÃO, M. P. Wood fuel consumption in Maputo, Mozambique. **Biomass and Bioenergy**, v. 27, n. 3, p. 233-245, 2004. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0961953404000145>>. Acesso em: 8/10/2012.

BUNSTER, J. **Commercial timbers of Mozambique**. 2nd ed. Maputo, 2006.

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

CAMPBELL, B. M.; ANGELSEN, A.; CUNNINGHAM, A. et al. Miombo woodlands – opportunities and barriers to sustainable forest management. **Cifor**, 2007. Disponível em: <http://www.cifor.org/miombo/docs/Campbell_BarriersandOpportunities.pdf>. Acesso em: 3/7/2011.

CHANNIWALA, S. A.; PARIKH, P. P. A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels. **Fuel**, v. 81, p. 1051-1053, 2002.

CIOLKOSZ, D. **Characteristics of biomass as a heating fuel**. 2010.

CUTTER, B. E.; CUMBIE, B. G.; MCGINNES, E. A. Wood Science and Technology SEM and Shrinkage Analyses of Southern Pine Wood Following Pyrolysis. **Wood Science and Technology**, v. 130, p. 115-130, 1980.

DIREÇÃO NACIONAL DE FLORESTAS E FAUNA BRAVIA. **Programa Nacional de Florestas e Fauna Bravia (1995-2000)**. Maputo-Moçambique, 1995.

DIREÇÃO NACIONAL DE TERRAS E FLORESTAS. **Relatório estatístico anual de 2007**. Maputo-Moçambique, 2008.

DIREÇÃO NACIONAL DE TERRAS E FLORESTAS. **Relatório estatístico anual de 2008**. Maputo-Moçambique, 2009.

DIREÇÃO NACIONAL DE TERRAS E FLORESTAS. **Relatório estatístico anual de 2009**. Maputo-Moçambique, 2010.

DIREÇÃO NACIONAL DE TERRAS E FLORESTAS. **Relatorio estatístico anual de 2010**. Maputo-Moçambique, 2011.

DIREÇÃO NACIONAL DE TERRAS E FLORESTAS. **Relatório estatístico anual de 2011**. Maputo-Moçambique, 2012.

DUKE, J. A. Handbook of Energy Crops Index. **NewCrops**, 1983. Disponível em: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/dukeindex.html>. Acesso em: 30/9/2012.

ESTEVES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: a review. **BioResources**, v. 4, n. 1965, p. 370-404, 2009.

FAO. Industrial charcoal making. **FAO FORESTRY PAPER**, 1985. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/x5555e/x5555e00.htm>>. Acesso em: 3/10/2012.

FAO. Simple Technologies for Charcoal Making. **FAO FORESTRY PAPER**, 1987. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/X5328e/X5328e00.htm>>. Acesso em: 3/11/2012.

GERMISHUIZEN, G.; MEYER, N. L. Plants of southern Africa: an annotated checklist. Disponível em: <http://posa.sanbi.org/intro_posa.php>. Acesso em: 2/10/2012.

GIRARD, P. Charcoal production and use in Africa: what future? **Unasyiva**, v. 53, n. 211, p. 30-35, 2002.

GNANAHARAN, R.; DHAMODARAN, T. K.; THULASIDAS, E. K. Yield and Quality of Charcoal from Coconut Stem Wood. **Biomass**, v. 16, n. 148, p. 251-256, 1988.

GOMES E SOUSA, A. **Dendrologia de Moçambique**. Lourenço Marques: Instituto de Investigação Agronómica de Moçambique, 1967.

GONÇALVES, T. A. P. **Anatomia do lenho e do carvão de espécies arbóreas do cerrado no estado de São Paulo, Brasil**, 2010. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO.”

GONÇALVES, T. A. P.; MARCATI, C. R.; SCHEEL-YBERT, R. The effect of carbonization on wood structure of Dalbergia violaceae, Stryphnodendron polyphyllum, Tapirira guianensis, Vochysia tucanorum, and Pouteria torta from the Brazilian cerrado. **IAWA JOURNAL**, v. 33, n. 1, p. 73-90, 2012.

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

HERRMANN, E.; MILTON, S.; SEYMOUR, C.; ALIAS, D. **A collection and overview of research information on Combretum imberbe Wawra (Combretaceae) and identification of relevant research gaps to inform protection of the species**. 2003.

IAWA COMMITTEE. IAWA List of Microscopic features for Hardwood Identification. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

INSIDE WOOD. Inside Wood - Search the Inside Wood Database. Disponível em: <<http://insidewood.lib.ncsu.edu/search.0;jsessionid=c83f708ab41790e999eda14d529d>>. Acesso em: 1/10/2012.

INSTITUTO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO - INDE. **Atlas de Moçambique**. Maputo-Moçambique, 2009.

KAISER, E. R. Chemical Analyses of Refuse Components. Proceedings of 1966 National Incin. Conference. **Anais...** p.84-88, 1966.

KATAKI, R.; KONWER, D. Fuelwood characteristics of some indigenous woody species of north-east India. **Biomass and Bioenergy**, v. 20, n. 1, p. 17-23, 2001. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S096195340000060X>>. .

KATAKI, R.; KONWER, D. Fuelwood characteristics of indigenous tree species of. **Biomass and Bioenergy**, v. 22, p. 433-437, 2002.

KIM, N.-H.; HANNA, R. B. Morphological characteristics of Quercus variabilis charcoal prepared at different temperatures. **Wood Science and Technology**, v. 40, n. 5, p. 392-401, 2006. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/10.1007/s00226-005-0062-5>>. Acesso em: 30/9/2012.

KOCAEFE, D.; CHAUDHRY, B.; PONCSAK, S.; BOUAZARA, M.; PICHETTE, A. Thermogravimetric study of high temperature treatment of aspen: effect of treatment parameters on weight loss and mechanical properties. **Journal of Materials Science**, v. 42, n. 3, p. 854-866, 2007. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/10.1007/s10853-006-0054-3>>. Acesso em: 30/9/2012.

KUMAR, R.; PANDEY, K. K.; CHANDRASHEKAR, N.; MOHAN, S. Study of age and height wise variability on calorific value and other fuel properties of Eucalyptus hybrid, Acacia auriculaeformis and Casuarina equisetifolia. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 3, p. 1339-1344, 2011. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0961953410004897>>. Acesso em: 8/9/2012.

KWON, S.-M.; KIM, N.-H.; CHA, D.-S. An investigation on the transition characteristics of the wood cell walls during carbonization. **Wood Science and Technology**, v. 43, n. 5-6, p. 487-498, 2009. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/10.1007/s00226-009-0245-6>>. Acesso em: 30/9/2012.

LEMENIH, M.; BEKELE, T. Effect of age on calorific value and some mechanical properties of three Eucalyptus species grown in Ethiopia. **Biomass and Bioenergy**, v. 27, n. 3, p. 223-232, 2004. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0961953404000157>>. Acesso em: 30/9/2012.

MADEBRAS-FUPEF-MADEMO. **Desenvolvimento Florestal da Província do Niassa. Estudo Tecnológico das Madeiras.** Curitiba, 1982.

MARTIN, F. **El carbon vegetal. Propiedades y obtencion.** Castelló, 1989.

MARZOLI, A. **Inventário florestal nacional.** Maputo, 2007.

MCGINNIS, E. A.; KANDEEL, S. A.; SZOPA, P. S. Some structural changes observed in the transformation of wood into charcoal. **Wood and Fiber**, v. 3, n. 1966, p. 77-83, 1971.

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

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Lei de Florestas e Fauna Bravia. Lei 10/99 de 7 de Junho.** Maputo-Moçambique, 1999.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Regulamento da Lei de Florestas e Fauna Bravia. Decreto 12/2002.** Maputo-Moçambique, 2002.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Política e Estratégia de Desenvolvimento de Florestas e Fauna Bravia.** Maputo-Moçambique, 1997.

NISHIMIYA, K.; HATA, T.; IMAMURA, Y.; ISHIHARA, S. Analysis of chemical structure of wood charcoal by X-ray photoelectron spectroscopy. **Journal of Wood Science**, v. 44, n. 1, p. 56-61, 1998. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/10.1007/BF00521875>>. .

NÚÑEZ-REGUEIRA, L.; AÑÓN, J. A. R.; CASTIÑEIRAS, J. P. Calorific values and flammability of forest species in Galicia. Continental high mountainous and humid Atlantic zones. **Bioresource technology**, v. 61, p. 111-119, 1997.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R. et al. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. Quality parameters of *Eucalyptus pellita*. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

OLIVEIRA, J. B.; VIVACQUA-FILHO, A.; MENDES, G. M. E.; GOMES, O. P. A. Produção e utilização de carvão vegetal. **Produção e utilização de carvão vegetal.** p.61-89, 1982. Belo Horizonte.

OYEDUN, A. O.; LAM, K. L.; HUI, C. W. Charcoal Production via Multistage Pyrolysis. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 20, n. 3, p. 455-460, 2012. Chemical Industry and Engineering Society of China (CIESC) and Chemical Industry Press (CIP). Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1004954111602061>>. Acesso em: 3/11/2012.

PALGRAVE, K. C. **Trees of Southern Africa.** 3rd ed. Cape Town, 2002.

PEARSALL, D. M. **Paleoethnobotany: A handbook of procedures**. 2nd ed. Academic Press, 2000.

PETROFF, G.; DOAT, J. Pyrolyse des bois tropicaux. Influence de la composition chimique des bois sur les produits de distillation. **Revue Bois et Forêts des Tropiques**, , n. 177, p. 51-64, 1978.

PICHERSKY, E.; GERSHENZON, J. The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense. **Current opinion in plant biology**, v. 5, n. 3, p. 237-43, 2002. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11960742>>. .

POLETTI, M.; ZATTERA, A. J.; FORTE, M. M. C.; SANTANA, R. M. C. Thermal decomposition of wood: influence of wood components and cellulose crystallite size. **Bioresource technology**, v. 109, p. 148-53, 2012. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22306076>>. Acesso em: 5/9/2012.

PRIOR, J.; ALVIN, K. L. STRUCTURAL CHANGES ON CHARRING WOODS OF DICHROSTACHYS AND SALIX FROM SOUTHERN AFRICA. **IAWA Bulletin**, v. 4, n. 4, 1983.

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

RIBEIRO, V. An overview of the problems faced by Mozambique's forests, forest-dependent peoples and forest workers. **WRM Bulletin**, 2008. Disponível em: <http://www.wrm.org.uy/countries/Africaspeaks/Overview_problems_Mozambique_forests.pdf>. .

RICHTER, H. G.; DALLWITZ, M. J. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Disponível em: <<http://delta-intkey.com/>>. Acesso em: 3/10/2012.

ROUSSET, P.; FIGUEIREDO, C.; DE SOUZA, M.; QUIRINO, W. Pressure effect on the quality of eucalyptus wood charcoal for the steel industry: A statistical analysis approach. **Fuel Processing Technology**, v. 92, n. 10, p. 1890-1897, 2011. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378382011001767>>. Acesso em: 29/7/2012.

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

SCHEEL-YBERT, R. **Stabilité de l'Écosystème sur le Littoral Sud-Est du Brésil à l'Holocène Supérieur (5500-1400 ans BP): les pêcheurs-cueilleurs-chasseurs et le milieu végétal: apports de l'antracologie**, 1998. UNIVERSITE MONTPELLIER II.

SCHEEL-YBERT, R. Importância da análise de macro-restos vegetais para a reconstituição do modo de vida de populações pré-históricas. Atas do XII Congresso da Sociedade de Arqueologia Brasileira. **Anais...** p.11, 2003. São Paulo.

SCHEEL-YBERT, R.; CARVALHO, M. A.; MOURA, R. P. O. et al. Coleções de referência e bancos de dados de estruturas vegetais: subsídios para estudos paleoecológicos e paleoetnobotânicos. **Arquivos do Museu Nacional**, v. 64, n. 3, p. 255-266, 2006.

SEBIO-PUÑAL, T.; NAYA, S.; LÓPEZ-BECEIRO, J.; TARRÍO-SAAVEDRA, J.; ARTIAGA, R. Thermogravimetric analysis of wood, holocellulose, and lignin from five wood species. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 109, p. 1-5, 2012. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/10.1007/s10973-011-2133-1>>. Acesso em: 7/8/2012.

SHIMIZU, J. Y. Pesquisa e desenvolvimento florestal em Moçambique. **EMBRAPA**, p. 33, 2006.

STAMM, A.J; BURR, H. K.; KLINE, A. A. Staywood-Heat-stabilized wood. **Industrial & Engineering Chemistry**, v. 38, n. 6, p. 630-634, 1946.

STAMM, A.J. Thermal Degradation of Wood and Cellulose. **Industrial and engineering Chemistry**, v. 48, p. 413-417, 1956.

STEIERER, B. F. Highlights on wood charcoal: 2004-2009. **FAOSTAT-ForesSTAT**, p. 1-3, 2011.

TECHNICAL CENTRE FOR AGRICULTURAL AND RURAL COOPERATION. Home - Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation ACP-EU (CTA). Disponível em: <<http://www.cta.int/>>. Acesso em: 3/10/2012.

THUVANDER, F.; BERGLUND, L. A. In situ observations of fracture mechanisms for radial cracks in wood. **Journal of Materials Science**, v. 35, p. 6277-6283, 2000.

THÉRY-PARISOT, I.; CHABAL, L.; CHRZAVZEZ, J. Anthracology and taphonomy, from wood gathering to charcoal analysis. A review of the taphonomic processes modifying charcoal assemblages, in archaeological contexts. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 291, n. 1-2, p. 142-153, 2010. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0031018209003976>>. Acesso em: 1/11/2012.

THÉRY-PARISOT, I.; HENRY, A. Seasoned or green? Radial cracks analysis as a method for identifying the use of green wood as fuel in archaeological charcoal. **Journal of Archaeological Science**, v. 39, n. 2, p. 381-388, 2012. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2011.09.024>>. .

TJEERDSMA, B. F.; BOONSTRA, M.; PIZZI, A.; TEKELY, P.; MILITZ, H. Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 56, p. 149-153, 1998.

UETIMANE, E.; TERZIEV, N.; DANIEL, G. Wood anatomy of three lesser known species from mozambique. **IAWA Journal**, v. 30, n. 3, p. 277-291, 2009.

VALE, A. T.; ABREU, V. L. S.; GONZALEZ, J. C.; COSTA, A. F. Estimativa do poder calorífico superior do carvão vegetal de madeiras de *Eucalyptus grandis* em função do teor de carbono fixo e do teor de materias voláteis. **Brasil Florestal**, , n. 73, p. 47-52, 2002.

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

WILLIAMS, M.; RYAN, C. M.; REES, R. M. et al. Carbon sequestration and biodiversity of re-growing miombo woodlands in Mozambique. **Forest Ecology and Management**, v. 254, n. 2, p. 145-155, 2008. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378112707005634>>. Acesso em: 28/7/2012.

WORLD ENERGY OUTLOOK. **Energy for cooking in developing countries**. 2nd ed. Paris, 2006.

YATIM, B.; HOI, W. K. The quality of charcoal from various types of wood. **Fuel**, v. 66, n. 9, p. 1305-1306, 1987.