

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CIBELLE AMARAL REIS

ANATOMIA E ESPECTROCOPIA DA MADEIRA E CARVÃO DE ESPÉCIES DE *Manilkara*
sp. DA RESEX VERDE PARA SEMPRE - PARÁ

CURITIBA

2020

CIBELLE AMARAL REIS

ANATOMIA E ESPECTROCOPIA DA MADEIRA E CARVÃO DE ESPÉCIES DE *Manilkara*
sp. DA RESEX VERDE PARA SEMPRE - PARÁ

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientadora:

Profa. Dra. Silvana Nisgoski

Coorientadoras:

Profa. Dra. Graciela Inés Bolzon de Muñiz

Profa. Dra. Simone Ribeiro Morrone

CURITIBA

2020

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Reis, Cibelle Amaral

Anatomia e espectroscopia da madeira e carvão de espécies de
Manilkara sp. da RESEX verde para sempre - Pará / Cibelle Amaral Reis.
- Curitiba, 2020.

153 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Silvana Nisgoski

Coorientadoras: Profa. Dra. Graciela Inés Bolzon de Muñiz

Profa. Dra. Simone Ribeiro Morrone

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
Defesa: Curitiba, 17/02/2020.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Madeira - Pará. 2. Madeira - Anatomia. 3. Carvão vegetal.
4. Espectroscopia de infravermelho. 5. Colorimetria. 6. Teses. I. Nisgoski,
Silvana. II. Bolzon de Muñiz, Graciela Inés. III. Morrone, Simone Ribeiro.
IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.811.1(811.5)

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **CIBELLE AMARAL REIS** intitulada: **Anatomia e espectroscopia da madeira e carvão de espécies de Manilkara sp da RESEX Verde para Sempre, Pará.**, sob orientação da Profa. Dra. SILVANA NISGOSKI, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 17 de Fevereiro de 2020.


SILVANA NISGOSKI

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)


MAYARA ELITA CARNEIRO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)


PATRICIA SOFFIATTI

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Dedico este trabalho aos meus pais, Afonso F. Reis Filho e Francisca Bernardete Amaral Reis, e aos meus avós, Afonso Feitosa Reis (*In memoriam*) e Maria do Amparo C. Reis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais que foram meus primeiros mestres no caminho da educação e conhecimento e que sempre me incentivaram e acompanharam nessa jornada.

Gratidão à minha orientadora, Professora Silvana Nisgoski pela imensa paciência, ensinamentos e carinho, assim como às Professoras Graciela Muñiz e Simone Morrone, coorientadoras deste trabalho.

As integrantes do Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira, Eliane Lopes da Silva, Joielan Xipaia dos Santos, Helena Cristina Vieira, Tawani Lorena Naide, Ramiro França, Angela Luísa Schütz e Lia Stiegler meus eternos agradecimentos pelo acolhimento, carinho, ensinamentos, companheirismo e cafezinhos! Esse trabalho não seria possível sem as suas contribuições.

Aos meus colegas de pós-graduação, em especial aos amigos do Laboratório de Tecnologia da Madeira, Vinícius Rosa Schweitzer, Ângela Stüpp e Mariuci Torres: obrigada pelas contribuições científicas, pelas risadas e companheirismo. A Emmanoella Guaraná e Thiago Cardoso minha gratidão pelo carinho, conversas, acolhimento e contribuições científicas.

As minhas amigas Juliete Victoria, Júlia Andresa, Emily Queiroz e Luísa Afonso agradeço a paciência, amor e suporte. À Izolete Maria e família e Zarife Ayub pelo amor, conforto e acolhimento.

À Universidade Federal do Paraná, com destaque aos integrantes e contribuintes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná em especial aos docentes e técnicos pelos ensinamentos, infraestrutura e suporte.

À Profa. Patrícia Soffiatti e ao Centro de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal do Paraná na obtenção de parte das imagens deste trabalho e à Profa. Mayara Carneiro pelas valiosas contribuições e sugestões.

Aos integrantes das comunidades Arimum e Paraíso da Reserva Extrativista Verde Para Sempre e aos gestores Marlon de Costa Menezes e Simon agradeço o trabalho, acolhimento e atenção fundamentais para a realização deste estudo.

Aos Ministério do Meio Ambiente e ao Instituto Chico Mendes pela incursão e coleta na Reserva Extrativista Verde Para Sempre.

À todos os meus professores do Instituto Santa Maria Mazzarello, Escola de Referência em Ensino Médio Ginásio Pernambucano e Universidade Federal Rural de Pernambuco; todos vocês contribuíram para a pessoa e profissional que sou hoje.

Ao Ministério da Educação e CAPES pela oportunidade de cursar uma pós-graduação pública e de qualidade.

RESUMO GERAL

A descrição e identificação anatômica da madeira constituem-se como as etapas iniciais para uma correta e eficiente destinação de determinado espécime assim como agente ainda imprescindível no comércio de madeiras no Brasil e no mundo. O potencial de uso de técnicas não destrutivas para tal finalidade tem sido estudado quanto à sua eficiência e acurácia como novo instrumento para fins de fiscalização. Portanto, o objetivo deste estudo é descrever a estrutura anatômica da madeira e carvão de espécies comumente chamadas de maçaranduba e maparajuba, além de caracterizar o material por espectroscopia no visível e infravermelho. Discos de cinco árvores de Sapotaceae provenientes de duas localidades da Reserva Extrativista Verde Para Sempre, Pará, foram coletadas para a realização de sua descrição anatômica e coleta de dados espectrais VIS/NIR. Foram testados diferentes pré-tratamentos e métodos de análise multivariada, assim como material de xiloteca e antracoteca para validação externa na caracterização das amostras. A descrição anatômica da madeira confirmou as semelhanças quantitativas e qualitativas entre as cinco sapotáceas pertencentes ao gênero *Manilkara*, mas também permitiu a observação de caracteres qualitativos distintos entre as amostras indicando que provavelmente pertencem a espécies ou subespécies diferentes. O carvão preservou as características qualitativas do seu material de origem, diferindo quanto aos caracteres quantitativos devido aos processos inerentes à carbonização. A colorimetria resultou em uma mesma classificação para todos os indivíduos, contudo, em valores quantitativos absolutos ocorreram distinções entre planos anatômicos e entre amostras em diferentes coordenadas cromáticas. Ainda em técnicas não destrutivas, foi possível observar agrupamentos utilizando PCA na presença ou ausência de pré-tratamentos em dados provenientes de análises em espectroscopia de infravermelho próximo. Na análise do espectro, foram identificadas bandas com potencial para distinção entre os indivíduos. Foi possível realizar a classificação das amostras a nível de gênero tanto anatomicamente quanto no uso de técnica não destrutiva aliada à métodos estatísticos multivariados em diferentes níveis de acurácia. O presente estudo confirmou a problemática já relatada na literatura, com outras técnicas em sua maioria destrutivas, de identificação e distinção dentro da família Sapotaceae. Contudo, foi possível estabelecer correlações entre as amostras e demonstrar a eficiência da distinção e identificação utilizando validação externa em análises não destrutivas.

Palavras-chave: Análises não destrutivas; Madeiras amazônicas; Espectroscopia no infravermelho próximo; Espectroscopia VIS; Caracterização de madeiras; Caracterização de carvão vegetal.

ABSTRACT

The description and anatomical identification of wood are the initial steps to a rightful and efficient destination for a certain specimen yet a fundamental tool to the wood trade at a national and worldwide level. The potential application of non-destructive techniques for such reasons is being studied for its efficiency and accuracy as a new instrument for inspection. Thus, the aim of this study is to describe the wood and charcoal anatomy structures of species commonly known as maçaranduba and maparajuba as well as its VIS and NIR spectroscopy characterization. Discs from the base of five Sapotaceae trees originated from two different locations in the Reserva Extrativista Verde Para Sempre (an extractive reserve) in Pará state, Brazil, were collected to perform its wood anatomical description and VIS/NIR spectral analysis. Distinct pre-treatments and multivariate analysis methods were tested as well as xylotheque and charcoal collection material were used to external validation. The wood anatomical description confirmed quantitative and qualitative similarities among the five Sapotaceae but also allowed the observation of some distinct qualitative characteristics between them which indicates that they probably belong to different species or subspecies. The charcoal preserved the wood qualitative features but showed quantitative differences as a result of the carbonization process. The colorimetric analysis exhibits the same color classification for all the samples but, in absolute values, some distinctions between anatomical plans and among samples could be observed in different chromatic coordinates. Yet discussing non-destructive techniques, it was noticed some grouping utilizing PCA in the presence or absence of pre-treatments in the resulting data from near-infrared spectroscopy analysis. Analyzing the resulting spectrum, it was possible to identify bands with the potential to distinguish between individuals. A positive classification in the genus level was achieved in the anatomical analysis such as in the non-destructive analysis associated with multivariate statistical methods at different accuracy levels. This study confirmed previously reported problematic, usually using destructive methods, of identification and distinction inside the Sapotaceae family. Furthermore, it was possible to establish correlations between samples and demonstrate the distinction and identification efficiency using external validation in the non-destructive analysis.

Keywords: Non-destructive analysis; Amazon woods; Near-Infrared spectroscopy; VIS spectroscopy; Wood characterization; Charcoal characterization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1.1 – IMAGENS MACROSCÓPICAS DA MADEIRA DE 5 <i>Manilkara</i> sp. | 30 |
| FIGURA 1.2 – IMAGENS MICROSCÓPICAS DA MADEIRA DE 5 <i>Manilkara</i> sp. | 31 |
| FIGURA 1.3 – IMAGENS MICROSCÓPICAS DA MADEIRA DE MAÇARANDUBA 1477 | 32 |
| FIGURA 1.4 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA MADEIRA DE MAÇARANDUBA 1477 | 33 |
| FIGURA 1.5 – IMAGENS MICROSCÓPICAS DA MADEIRA DE MAPARAJUBA 1064. | 34 |
| FIGURA 1.6 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA MADEIRA DE MAPARAJUBA 1064. | 35 |
| FIGURA 1.7 – IMAGENS MICROSCÓPICAS DA MADEIRA DE MAÇARANDUBA 1386 | 36 |
| FIGURA 1.8 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA MADEIRA DE MAÇARANDUBA 1386 | 37 |
| FIGURA 1.9 – IMAGENS MICROSCÓPICAS DA MADEIRA DE MAPARAJUBA 161. | 38 |
| FIGURA 1.10 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA MADEIRA DE MAPARAJUBA 161 | 39 |
| FIGURA 1.11 – IMAGENS MICROSCÓPICAS DA MADEIRA NI. | 40 |
| FIGURA 1.12 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA MADEIRA DE NI..... | 41 |
| FIGURA 1.13 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DO CARVÃO DE 5 <i>Manilkara</i> sp. | 47 |

CAPÍTULO 2

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 2.1 – COMPRIMENTOS DE ONDA E SUA CORRESPONDÊNCIA POR DOMÍNIO DE COR NO ESPECTRO VISÍVEL. | 57 |
| FIGURA 2.2 – REPRESENTAÇÃO DO ESPAÇO CIEL*A*B | 58 |
| FIGURA 2.3 – ESPECTROS MÉDIOS NO VISÍVEL COM OS DADOS ORIGINAIS DE 5 <i>Manilkara</i> sp. | 66 |
| FIGURA 2.4 – GRÁFICO DE <i>LOADINGS</i> DO PCA COM O ESPECTRO VISÍVEL MÉDIO DAS AMOSTRAS | 67 |
| FIGURA 2.5 – GRÁFICO DE <i>SCORES</i> DO PCA COM O ESPECTRO VISÍVEL MÉDIO POR PLANO DE CORTE | 68 |

CAPÍTULO 3

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 3.1 – ESPECTROS NIR MÉDIOS ORIGINAIS DAS CINCO <i>Manilkara</i> sp. | 79 |
| FIGURA 3.2 – GRÁFICO DE <i>SCORES</i> DO PCA COM ESPECTROS NIR ORIGINAIS DE CINCO SAPOTÁCEAS. A: MÉDIAS DOS PLANOS POR ÁRVORE; B: MÉDIAS DOS PLANOS POR LOCALIDADE | 80 |
| FIGURA 3.3 – GRÁFICO DE <i>SCORES</i> DO PCA DOS ESPECTROS NIR ORIGINAIS MÉDIOS POR PLANO ANATÔMICO: TRANSVERSAL (A), RADIAL (B) E TANGENCIAL (C) | 81 |
| FIGURA 3.4 – ESPECTROS NIR EM SEGUNDA DERIVADA DAS MADEIRAS DE SAPOTACEAE. | 82 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 3.5 – BANDAS SELECIONADAS DO ESPECTRO NIR EM SEGUNDA DERIVADA DAS MADEIRAS DE SAPOTACEAE PARA A POSSÍVEL DISTINÇÃO ENTRE AMOSTRAS | 83 |
| FIGURA 3.6 – GRÁFICO DE <i>SCORES</i> DO PCA COM ESPECTROS NIR EM SEGUNDA DERIVADA DAS AMOSTRAS DE MADEIRA DE SAPOTACEAE. A) POR AMOSTRA; B) POR PROCEDÊNCIA | 84 |
| FIGURA 3.7 – GRÁFICO DE <i>SCORES</i> DO PCA COM ESPECTROS NIR MÉDIOS EM SEGUNDA DERIVADA POR PLANO ANATÔMICO: A: TRANSVERSAL, B: RADIAL, C: TANGENCIAL | 85 |
| FIGURA 3.8 – ESPECTRO NIR MÉDIO EM SEGUNDA DERIVADA NA REGIÃO DE 7500 – 4000 CM^{-1} | 86 |
| FIGURA 3.9 – GRÁFICO DE <i>SCORES</i> DO PCA DOS ESPECTROS NIR MÉDIOS EM SEGUNDA DERIVADA DA MADEIRA DE CINCO SAPOTÁCEAS NA REGIÃO ENTRE 7500 A 4000 CM^{-1} | 87 |
| FIGURA 3.10 – ESPECTROS NIR MÉDIOS ORIGINAIS DO CARVÃO DE CINCO SAPOTÁCEAS. | 88 |
| FIGURA 3.11 – BANDAS ESPECTRAIS MÉDIAS DO CARVÃO DE CINCO SAPOTÁCEAS | 89 |
| FIGURA 3.12 – GRÁFICOS DE <i>SCORES</i> DO PCA COM ESPECTRO ORIGINAL MÉDIO DO CARVÃO DE CINCO SAPOTÁCEAS: A: MÉDIAS POR ÁRVORES; B: MÉDIAS POR LOCALIDADE | 90 |
| FIGURA 3.13 – GRÁFICOS DE <i>SCORES</i> DO PCA COM ESPECTRO NIR ORIGINAL MÉDIO DO CARVÃO DE CINCO SAPOTÁCEAS: TRANSVERSAL (A), RADIAL (B), TANGENCIAL (C) | 91 |
| FIGURA 3.14 – ESPECTRO NIR MÉDIO DOS CARVÕES DE CINCO SAPOTÁCEAS APÓS USO DE MSC | 92 |
| FIGURA 3.15 – BANDAS SELECIONADAS DO ESPECTRO NIR MÉDIO DOS CARVÕES APÓS MSC PARA A POSSÍVEL DISTINÇÃO ENTRE AMOSTRAS..... | 93 |
| FIGURA 3.16 – GRÁFICO DE <i>SCORES</i> DO PCA COM ESPECTRO NIR MÉDIO DO CARVÃO COM DADOS TRATADOS COM MSC. A: MÉDIAS POR ÁRVORE; B: MÉDIAS POR LOCALIDADE..... | 94 |
| FIGURA 3.17 – GRÁFICO DE <i>SCORES</i> DO PCA COM ESPECTRO NIR MÉDIO DO CARVÃO TRATADOS COM MSC POR PLANOS DE CORTE: A: TRANSVERSAL, B: RADIAL, C: TANGENCIAL..... | 95 |
| FIGURA 3.18 – ESPECTRO NIR MÉDIO DO CARVÃO DE 5 SAPOTÁCEAS DOS DADOS TRATADOS COM MSC NA FAIXA ENTRE 5200 E 4000 CM^{-1} | 96 |
| FIGURA 3.19 – BANDAS DO ESPECTRO NIR MÉDIO DO CARVÃO DE CINCO SAPOTÁCEAS APÓS MSC COM POTENCIAL PARA DISTINÇÃO DAS AMOSTRAS ANALISADAS | 97 |
| FIGURA 3.20 – GRÁFICO DE <i>SCORES</i> DO PCA DOS ESPECTROS NIR DO CARVÃO TRATADOS COM MSC ENTRE 5200 E 4000 CM^{-1} . A) POR INDIVÍDUO; B) POR LOCALIDADE | 98 |
| FIGURA 3.21 – GRÁFICO DE <i>SCORES</i> DO PCA COM ESPECTRO NIR DO CARVÃO TRATADO COM MSC POR PLANO DE CORTE: A: TRANSVERSAL, B: RADIAL, C: TANGENCIAL (T) | 99 |

CAPÍTULO 4

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| FIGURA 4.1 – GRÁFICO DE <i>SCORES</i> DO PCA DO ESPECTRO DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL DAS AMOSTRAS DA XILOTECA POR GÊNERO SEM TRATAMENTO | 113 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| FIGURA 4.2 – GRÁFICO DE <i>SCORES</i> DO PCA DAS AMOSTRAS DA XILOTECA COM O ESPECTRO NIR MÉDIO ORIGINAL (A) E EM SEGUNDA DERIVADA (B) | 116 |
| FIGURA 4.3 – GRÁFICO DE <i>SCORES</i> DO PCA COM ESPECTROS NIR EM SEGUNDA DERIVADA DAS AMOSTRAS DA RESEX E DA XILOTECA | 118 |
| FIGURA 4.4 – GRÁFICO DE <i>SCORES</i> DO PCA COM ESPECTROS NIR EM SEGUNDA DERIVADA DAS AMOSTRAS DA XILOTECA E RESEX OBTIDOS A PARTIR DE DIFERENTES FAIXAS DO ESPECTRO. A: 7500 A 4000 CM^{-1} E B: 6900 A 4000 CM^{-1} . | 120 |
| FIGURA 4.5 – ESPECTRO NIR MÉDIO DOS CARVÕES DA ANTRACOTECA APÓS TRATAMENTO COM MSC | 121 |
| FIGURA 4.6 – SEGMENTOS ESPECTRAIS COM POTENCIAL PARA DIFERENCIAÇÃO DOS ESPÉCIMES DO MATERIAL CARBONIZADO | 123 |
| FIGURA 4.7 – GRÁFICO DE <i>SCORES</i> DO PCA COM ESPECTROS NIR MÉDIOS APÓS MSC COM DADOS DE INDIVÍDUOS DA ANTRACOTECA | 124 |
| FIGURA 4.8 – ESPECTRO NIR MÉDIO DAS AMOSTRAS DE CARVÃO PROVENIENTES DE MATERIAL DA RESEX E ANTRACOTECA PRÉ-TRATADOS COM MSC | 124 |
| FIGURA 4.9 – SEGMENTOS ESPECTRAIS COM POTENCIAL PARA DISTINÇÃO POR GÊNERO DAS AMOSTRAS CARBONIZADAS | 125 |
| FIGURA 4.10 – GRÁFICO DE <i>SCORES</i> RESULTANTES DA PCA COM ESPECTRO NIR MÉDIO POR GÊNERO TRATADOS COM MSC DA RESEX E ANTRACOTECA | 126 |

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 1.1 – QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS DEFINIDAS PELAS CLASSES DE COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA PARA A RESERVA EXTRATIVISTA VERDE PARA SEMPRE, PORTO DE MOZ – PA | 25 |
| TABELA 1.2 – INFORMAÇÕES DAS AMOSTRAS | 26 |
| TABELA 1.3 – PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO. | 27 |
| TABELA 1.4 – IDENTIFICAÇÃO ANATÔMICA DAS AMOSTRAS | 29 |
| TABELA 1.5 – MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS DIMENSÕES ANATÔMICAS DAS MADEIRAS ANALISADAS..... | 41 |
| TABELA 1.6 – QUANTITATIVO DE POROS MÚLTIPLOS E SOLITÁRIOS NOS ESPÉCIMES ANALISADOS | 42 |
| QUADRO 1 – COMPARATIVO ENTRE OS CARACTERES ANATÔMICOS QUALITATIVOS DAS CINCO <i>Manilkara</i> sp. ESTUDADAS | 44 |
| TABELA 1.7 – MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS DIMENSÕES DO CARVÃO AVALIADO. | 46 |
| TABELA 1.8 – VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE BÁSICA CALCULADOS POR AMOSTRAS | 48 |

CAPÍTULO 2

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 2.1 – MÉDIAS SEGUIDAS DO DESVIO-PADRÃO DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS ANALISADOS | 61 |
| TABELA 2.2 – VALORES DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS OBTIDOS | 63 |

CAPÍTULO 4

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| TABELA 4.1 – RELAÇÃO DE AMOSTRAS DA XILOTECA E ANTRACOTECA DA UFPR UTILIZADAS NESTE ESTUDO | 110 |
| TABELA 4.2 – IDENTIFICAÇÃO ANATÔMICA DAS AMOSTRAS | 112 |
| TABELA 4.3 – MATRIZ DE CONFUSÃO DO LDA DO ESPECTRO VISÍVEL; ACURÁCIA DE 81,33% | 113 |
| TABELA 4.4 – IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DA RESEX PELO LDA COM O ESPECTRO VISÍVEL. MÉDIAS DOS DADOS POR ÁRVORE SEGUIDA POR MÉDIA DOS DADOS POR PLANOS. | 114 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| TABELA 4.5 – CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DA RESEX COM O ESPECTRO NIR MÉDIO EM SEGUNDA DERIVADA DAS AMOSTRAS SEGUIDO DAS MÉDIAS DOS PLANOS | 116 |
| TABELA 4.6 – CLASSIFICAÇÃO LDA USANDO O ESPECTRO NIR EM SEGUNDA DERIVADA NA FAIXA DE 7500 A 4000 CM ⁻¹ | 117 |
| TABELA 4.7 – MATRIZ DE CONFUSÃO COM MÉDIA DAS AMOSTRAS E DOS PLANOS COM ACURÁCIA DE CADA MODELO | 119 |
| TABELA 4.8 – CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DA RESEX A PARTIR DA LDA | 127 |
| TABELA 4.9 – MATRIZ DE CONFUSÃO RESULTANTE DE LDA NO ESPECTRO 5200 A 4000 CM ⁻¹ ; MÉDIAS DAS AMOSTRAS E PLANOS E VALOR DE ACURÁCIA | 127 |
| TABELA 4.10 – CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS DE RESEX A PARTIR DE LDA COM ESPECTRO MÉDIO 5200 A 4000 CM ⁻¹ | 128 |
| TABELA 4.11 – IDENTIFICAÇÃO DOS GÊNEROS DAS AMOSTRAS DA RESEX PELAS DIFERENTES TÉCNICAS | 128 |
| TABELA 4.12 – IDENTIFICAÇÃO DOS GÊNEROS DAS AMOSTRAS DA RESEX PELAS DIFERENTES TÉCNICAS | 129 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | | |
|-----------|---|-----------------------------------------------------------------------------|
| ABNT | – | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ANOVA | – | Análise de Variância |
| AUTEX | – | Autorização de Exploração |
| IAWA | – | Associação Internacional dos Anatomistas da Madeira |
| \bar{M} | – | Valor médio |
| LDA | – | Análise Linear Discriminante |
| LSD | – | Mínima Diferença Significativa |
| MSC | – | <i>Master Scattering Correction</i> – correção de ruído do sinal |
| NIR | – | <i>Near-Infrared Spectroscopy</i> - Espectroscopia no infravermelho próximo |
| PCA | – | Análise de Componentes Principais |
| R | – | Plano radial |
| RESEX | – | Reserva Extrativista |
| SISFLORA | – | Sistema de Comercialização e Transporte de Produtos Florestais |
| T | – | Plano tangencial |
| VIS | – | <i>Visible spectra</i> - Espectro visível |
| X | – | Plano transversal |

SUMÁRIO

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| INTRODUÇÃO GERAL | 10 |
| OBJETIVOS | 14 |
| Objetivo geral..... | 14 |
| Objetivos específicos..... | 14 |
| ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO | 16 |
| REFERÊNCIAS | 17 |
| 1 CAPÍTULO 1 – ANATOMIA DA MADEIRA E CARVÃO DE 5 SAPOTACEAE | 19 |
| 1.1 INTRODUÇÃO | 21 |
| 1.2 MATERIAL E MÉTODOS | 24 |
| 1.2.1 DESCRIÇÃO DA RESEX..... | 24 |
| 1.2.2 COLETA DO MATERIAL..... | 25 |
| 1.2.3 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DAS AMOSTRAS..... | 26 |
| 1.2.4 CARBONIZAÇÃO..... | 27 |
| 1.2.5 DETERMINAÇÃO DE DENSIDADE BÁSICA..... | 28 |
| 1.2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS..... | 28 |
| 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 29 |
| 1.3.1 ANATOMIA DA MADEIRA..... | 29 |
| 1.3.1.1 Comparação das características anatômicas das amostras..... | 41 |
| 1.3.2 ANATOMIA DO CARVÃO..... | 45 |
| 1.3.3 DENSIDADE BÁSICA..... | 48 |
| 1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 49 |
| REFERÊNCIAS | 50 |
| 2 CAPÍTULO 2 – COLORIMETRIA DA MADEIRA DE 5 <i>Manilkara</i> sp. | 55 |
| 2.1 INTRODUÇÃO | 57 |
| 2.2 MATERIAL E MÉTODOS | 60 |
| 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 61 |
| 2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 70 |
| REFERÊNCIAS | 71 |
| 3 CAPÍTULO 3 – ESPECTROSCOPIA NIR DA MADEIRA E CARVÃO DE 5 <i>Manilkara</i> sp. | 74 |
| 3.1 INTRODUÇÃO | 76 |

| | | |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.2 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 78 |
| 3.3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 79 |
| 3.3.1 | MADEIRA | 79 |
| 3.3.2 | CARVÃO | 87 |
| 3.4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 100 |
| | REFERÊNCIAS | 101 |
| 4 | CAPÍTULO 4 – COMPARAÇÃO DAS TÉCNICAS DE ESPECTROSCOPIA VIS/NIR E ANATOMIA NA IDENTIFICAÇÃO DA MADEIRA E CARVÃO DE 5 <i>Manilkara</i> sp. | 105 |
| 4.1 | INTRODUÇÃO | 107 |
| 4.2 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 110 |
| 4.3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 112 |
| 4.3.1 | ANATOMIA DA MADEIRA | 112 |
| 4.3.2 | ESPECTROSCOPIA NO VISÍVEL | 112 |
| 4.3.3 | ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO | 115 |
| 4.3.3.1 | Madeira..... | 115 |
| 4.3.3.2 | Carvão | 121 |
| 4.3.4 | COMPARAÇÃO DAS TÉCNICAS | 129 |
| 4.4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 131 |
| | REFERÊNCIAS | 132 |
| | CONSIDERAÇÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES | 137 |
| | INDICAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 139 |
| | REFERÊNCIAS..... | 140 |

INTRODUÇÃO GERAL

A madeira é um recurso natural renovável que possui múltiplas aplicações, das mais simples como a lenha e carvão, perpassando pela construção civil e materiais engenheirados, produção de diversos tipos de papel até a aplicação em nanomateriais e nanotecnologias. Para cada finalidade há um conjunto de propriedades que são desejadas para tal material, portanto o conhecimento dessas características em conjunto com uma correta identificação da madeira é fundamental para a sua melhor utilização.

A identificação de espécies vegetais dá-se comumente pela coleta de ramos foliares em conjunto com material reprodutivo para a identificação junto a acervos e coleções botânicos com o auxílio de exsicatas e especialistas na área. Quando da impossibilidade e/ou dificuldade da coleta desses materiais, a identificação por meio da dendrologia é realizada ao reconhecer as características do fuste e folhagem da árvore ainda em pé no campo. Quando nenhuma dessas alternativas é viável, ou seja, a árvore já foi abatida e processada e, portanto, o único material acessível para identificação do espécime é a madeira, é ainda possível a sua identificação por meio das características dos elementos que a compõem.

A identificação de madeiras apoia-se no estudo de sua anatomia baseando-se no fato de que um determinado grupo de características possui valor taxonômico como característico para uma determinada família ou gênero (METCALFE; CHALK, 1950). São levados em consideração o agrupamento dos poros assim como sua frequência e dimensões, o tipo e arranjo do parênquima axial, a presença de camadas de crescimento além de características relativas ao parênquima radial, aos elementos de vaso e as fibras da madeira (IAWA, 1989). Esse conjunto descritivo é então usado em chaves de identificação além da comparação com a literatura e material de acervos devidamente identificados (como xilotecas e coleções de lâminas contendo cortes histológicos).

Contudo, esse processo possui uma série de limitações como o tempo para a obtenção, preparação e comparação das amostras, o grau de especialização e vasto conhecimento do profissional na área, além de madeiras que possuem características anatômicas muito semelhantes, fato que comumente ocorre entre indivíduos de uma mesma família e, de forma mais significativa, de um mesmo gênero. Essas semelhanças podem acarretar, portanto, em uma incorreta identificação que irá impactar diretamente na aplicação da madeira para determinada finalidade na situação em que existem madeiras com características anatômicas e estéticas semelhantes, mas com distinções em suas propriedades físicas, químicas e mecânicas.

A exploração predatória seletiva de diversas espécies madeireiras acarretaram em sua quase extinção e culminaram em legislações que regulam seu manejo sustentável ou, na maior parte dos casos, na proibição de seu corte e comercialização, como a regulação do Comércio Internacional de Madeiras pelo acordo firmado na Convenção sobre Comércio Internacional das Espécies da Flora e Fauna Selvagens em Perigo de Extinção – CITES. As madeiras tropicais possuem significativa valoração tanto no mercado nacional como no internacional especialmente nas aplicações que necessitam de um apelo estético, como é o caso da movelaria e pisos. A alta demanda por esses espécimes gerou a exploração desses recursos a tal ponto que muitas espécies chegaram ao risco de extinção, resultando na implementação no Brasil do Decreto n. 3.607, de 21 de setembro de 2000 e criação da Portaria MMA 443, de 17 de dezembro de 2014, além de legislação específica para algumas espécies.

A família Sapotaceae, pertencente ao clado Ericales, agrupa arbustos e árvores com distribuição basicamente global, mas com maior expressividade nas regiões tropical e subtropical distribuídos em 53 gêneros e cerca de 1250 espécies com destacada ocorrência na Ásia e América do Sul. Uma de suas características marcantes é a presença de látex branco quando do corte de casca, galhos, folhas e frutos (PENNINGTON, 1991; GOVAERTS et al., 2001 apud SWENSON; ANDERBERG, 2005; STEVENS, 2017).

Assim como o clado ao qual pertence, as relações dentro da família Sapotaceae ainda carecem de estudos mais aprofundados para melhor compreendê-las e embasá-las. A dificuldade de delimitação e classificação dentro dessa família são resultado da complexidade e frequente sobreposição de características além de diferenças muito sutis entre táxons, gerando diversas classificações e reclassificações desde sua criação. De acordo com Anderberg e Swenson (2003), o estudo mais moderno e melhor aceito é o de Pennigton (1991) que distribui a família em cinco tribos: Chrysophylleae, Isonandreae, Omphalocarpeae, Mimosopeae e Sideroxyloae, em que Mimosopeae é subdividida em três subtribos Glueminae (compreendendo os gêneros *Eberhardtia*, *Gluema*, *Inhambanella*, *Lecomtedoxa* e *Neolemonniera*), Manilkarinae (composta pelos gêneros *Faucherea*, *Labourdonnaisia*, *Labramia*, *Letestua*, *Manilkara* e *Northia*) e Mimosopinae (abrigando os gêneros *Austranella*, *Baillonella*, *Mimusops*, *Tieghemella*, *Vitellaria* e *Vitellariopsis*).

Dentro da subtribo Manilkarinae o gênero *Manilkara* se destaca pela sua importância econômica já que há o consumo de seus frutos (mais popularmente de *Manilkara zapota*), madeira (*M. bidentata*, *M. elata*, *M. excelsa*, *M. huberi*, *M. inundata*, *M. paraensis*, *M. salzmanii*) e látex (*M. bidentata*, *M. excelsa*, *M. huberi*, *M. zapota*) (SILVA JUNIOR et al., 2014).

Na América do Sul a relação com sapotáceas remonta aos povos originários em período pré-colonial, sendo explorados os frutos como fonte de alimentação, o látex para usos múltiplos (como matéria-prima para a confecção de artigos de artesanato e até mesmo uso medicinal), e provavelmente também uso de sua madeira. A família Sapotaceae é relatada em diversos estudos florísticos como uma das famílias mais abundantes e de maior riqueza florística na Amazônia, tanto em florestas manejadas como não manejadas (SIMONIAN, 2006; REIS et al., 2013).

Os primeiros relatos da exploração da balata proveniente de indivíduos de *Manilkara* remontam ao final do século XIX durante o primeiro *boom* da borracha e se estendem até a década de 70 do século seguinte. O estado do Pará abrigou o mais importante porto escoadouro da produção gomífera da região norte durante o primeiro *boom* da borracha, período no qual a exploração de látex teve como principal fonte as seringueiras (*Hevea brasiliensis*). Portanto, a exploração desse insumo é correlata a um período de grande importância histórica no desenvolvimento do estado, sendo responsável por alterações econômicas, sociais e ambientais (SIMONIAN, 2006; CARVALHO et al., 2018; SILVA, 2018; SOUZA, 2018).

O segundo *boom* da borracha brasileiro foi determinado pela Segunda Guerra Mundial já que o Japão, país que detinha poderio sobre o abastecimento de borracha da época, estava alinhado aos países do Eixo, portanto, seus adversários precisavam de um novo fornecedor dessa matéria prima. A exploração mais expressiva da balata proveniente de indivíduos do gênero *Manilkara* deu-se justamente neste contexto e foi responsável pelo desenvolvimento econômico do Norte do Pará neste período, tendo como mercados consumidores a Inglaterra e Estados Unidos (SIMONIAN, 2006; CARVALHO et al., 2018; SILVA, 2018).

Atualmente, a extração de balata (proveniente de *Manilkara bidentata*) no Pará está presente no município de Monte Alegre para a criação de artesanato local, contudo, existe discussão sobre o termo de concessão para a extração de balata em outros municípios inseridos na Floresta Estadual do Paru (Flota do Paru), Unidade de Conservação estadual de uso sustentável localizada no oeste do estado (CARVALHO et al., 2018).

O maior interesse de exploração do gênero *Manilkara* no Brasil está associado à sua madeira (com destaque para *M. bidentata*, *M. huberi* e *M. paraensis*) a qual possui usos múltiplos, mais amplamente utilizada na construção civil leve e pesada, comercializada tanto no mercado interno como externo. O grupo mais amplamente conhecido deste gênero são de espécimes vulgarmente chamados de maçaranduba e maparajuba (em países de língua

espanhola como *balata* e *quinilla* e de língua inglesa como *bulletwood* e *beefwood*) (CASTRO; CARVALHO, 2014).

A região da Amazônia Legal corresponde como a maior produtora de madeira tropical do país, destacando-se como maiores produtores os estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia, chegando a ser responsáveis por mais de 90% da produção nacional, em que o Pará se destaca como o segundo maior exportador de madeiras do país (REIS et al., 2013; CHIPAIA et. al, 2015). Segundo o SISFLORA (Sistema de Comercialização e Transporte de Produtos Florestais da Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Pará), entre primeiro de janeiro de 2006 e 21 de fevereiro de 2016 foi comercializado um volume total de madeira nativa de 28.033.734,06 m³ correspondendo ao valor de R\$ 4.150.738.749,28 no estado.

É interessante notar que ao analisar os relatórios deste sistema o primeiro identificador no que tange às essências florestais exploradas é o nome vulgar seguido do nome científico. Para o nome vulgar “maçaranduba” são atribuídos onze nomes científicos distintos (*Cinnamomum pyrifolium*, *Manilkara bidentata*, *M. bidentata* subsp. *surinamensis*, *M. excelsa*, *M. huberi*, *M. inundata*, *M. longifolia*, *M. salzmanni*, *M. sp.*, *M. triflora*, *Persea cordata*) e para a espécie *Manilkara huberi* são apresentados seis nomes vulgares distintos (aparaíú, maçaranduba, maçaranduba-balata, maçaranduba-verdadeira, maparajuba e paraju).

Discutindo-se exclusivamente o caso de indivíduos do gênero *Manilkara*, que é representado por doze espécies/variedades no relatório (*M. bidentata*, *M. bidentata* subsp. *bidentata*, *M. bidentata* subsp. *surinamensis*, *M. cavalcantei*, *M. excelsa*, *M. huberi*, *M. inundata*, *M. longifolia*, *M. paraensis*, *M. salzmanni*, *M. sp.*, *M. triflora*), tem-se uma contribuição que corresponde a cerca de 16% do volume total comercializado (4.501.609,13m³) e 17% do valor total comercializado (R\$719.365.077,70) na década analisada. Além do impacto econômico que este fato pode apresentar no uso indevido de indivíduos com diferentes propriedades, interferindo na qualidade do produto e podendo levar a uma desvalorização no mercado, há também um impacto na distribuição e riqueza das espécies quando se utilizada como base os nomes vernaculares. A identificação incorreta de espécimes pode comprometer o sucesso do seu manejo uma vez que pode acarretar na superexploração de indivíduos, retirada de espécies raras ou em processo de extinção, prejudicando a continuidade dessas espécies (MARTINS-DA-SILVA; HOPKINS; THOMPSON, 2003).

Estas informações do SISFLORA espelham aquelas provenientes dos planos de corte e AUTEX, resultantes dos levantamentos pré-corte em campo pelos parobotânicos. Esses indivíduos possuem um rico conhecimento local e são atores imprescindíveis nos estudos de

fauna e flora envolvendo a localidade em questão, além de rico repertório do uso dessas espécies e compreensão da cultura. Contudo, a classificação feita a partir de nomes vernaculares pode levar a erros substanciais, já que, como exemplificado anteriormente, uma única espécie pode ter diversos nomes vulgares e um mesmo nome vernacular pode ser atribuído a distintas espécies.

Como referenciado anteriormente no início desta seção, a identificação de um indivíduo arbóreo começa em campo por meio de conhecimentos dendrológicos (forma da copa e fuste, filotaxia, morfologias das folhas), contudo, uma correta identificação de um espécimen vegetal depende da coleta de folhas, frutos e flores e sua comparação por especialistas com material proveniente de herbário e informações disponíveis na literatura. Quando não se pode observar ou obter estas informações, no caso de indivíduos arbóreos é possível realizar a identificação por meio da anatomia do lenho. Esse processo envolve a atuação de profissionais altamente especializados e familiarizados com um universo de famílias, gêneros e espécies botânicas, além de envolver uma série de processos desde a extração de cortes histológicos até a classificação de suas estruturas e a comparação de sua descrição com a literatura, material de coleções devidamente identificados e chaves de identificação. Ademais, o número de especialistas capacitados é pequeno frente a demanda nacional para a identificação de espécimes, tanto para fins científicos quanto mercadológicos.

Frente a esses desafios novas técnicas vêm sendo desenvolvidas e testadas para uma correta e rápida identificação de espécimes vegetais como ferramentas auxiliares para a fiscalização do transporte e comercialização de madeiras.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Descrever a estrutura anatômica da madeira e carvão de espécies comumente chamadas de maçaranduba e maparajuba, além de caracterizar o material por espectroscopia no visível e infravermelho.

Objetivos específicos

Obter espectros por espectroscopia no visível e infravermelho da madeira maciça e do carvão de maçaranduba e maparajuba;

Comparar a eficiência da espectroscopia no VIS/NIR na discriminação da madeira das espécies analisadas além de avaliar a influência do plano de corte e superfície das amostras.

Comparar diferentes tratamentos matemáticos e métodos de classificação nos espectros VIS/NIR na discriminação da madeira das espécies analisadas.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está dividido em 4 capítulos, sendo resumidos a seguir.

Capítulo 1 – Anatomia da madeira e carvão de 5 Sapotaceae. Descreve a anatomia das madeiras popularmente chamadas de maçaranduba e maparajuba, bem como o carvão produzido, com o intuito de diferenciar o material. Também avaliou a densidade básica do material e as alterações ocorridas na estrutura anatômica em função da carbonização.

Capítulo 2 – Colorimetria da madeira de 5 *Manilkara* sp. Descreve a cor das amostras de madeira através dos parâmetros CIEL*a*b*, bem como avalia a variação entre os planos anatômicos de corte. Também avalia a possibilidade de distinção do material através dos dados de cor e espectro de reflectância no visível.

Capítulo 3 – Espectroscopia NIR da madeira e carvão de 5 *Manilkara* sp. Descreve a variação da absorção no infravermelho próximo das amostras de madeira e carvão analisadas, avaliando a possibilidade de distinção das amostras (maparajuba ou maçaranduba) em função de plano de corte e local de origem do material (Arimum ou Paraíso).

Capítulo 4 - Comparação das técnicas de espectroscopia VIS/NIR e anatomia na identificação da madeira e carvão de 5 *Manilkara* sp. Descreve a discriminação das amostras de maçaranduba e maparajuba coletadas na RESEX pela espectroscopia VIS/NIR comparando com amostras de referência da xiloteca e antracoteca do Laboratório de Anatomia da Madeira da UFPR. Compara o resultado da identificação das três técnicas e indica o potencial de utilização prática das técnicas.

REFERÊNCIAS

- ANDERBERG, A.A.; SWENSON, U. Evolutionary lineages in Sapotaceae (Ericales): a cladistic analysis based on NDH F sequence data. **International Journal of Plant Sciences**, v.164, n.5, p.763-773, 2003.
- BRASIL. Portaria MMA nº443, de 17 de dezembro de 2014. "Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção". **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil], Brasília, nº 245, p. 110, 18 de dezembro de 2014. Seção 1.
- CARVALHO, L. G.; SOUZA, B. R. G.; CUNHA, A. P. A. 'Passaporte para a floresta': a regulação do extrativismo de balata na Floresta Estadual do Paru, estado do Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 13, n. 2, p. 261-291, 2018.
- CASTRO, T. C.; CARVALHO, J. O. P. Dinâmica da população de *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev. durante 26 anos após a exploração florestal em uma área de terra firme na Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 161-169, 2014.
- CHIPAIA, F. D. C.; REIS, A. R. S.; REIS, L. P.; CARVALHO, J. C. D.; SILVA, E. F. R. D. Descrição anatômica macroscópica de madeira de oito espécies florestais comercializadas no município de Altamira-PA. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 2, n. 1, p. 18-24, 2015.
- IAWA COMMITTEE. List of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bulletin. v.10, n.3, p.221-359, 1989.
- MARTINS-DA-SILVA, R. C. V.; HOPKINS, M. G.; THOMPSON, I. S. **Identificação botânica na Amazônia: situação atual e perspectivas**. Embrapa Amazônia Oriental - Documentos 168 (INFOTECA-E), 2003.
- METCALFE, C.R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons**. Oxford. Clarendon Press, 1950.
- PENNINGTON, T.D. 1991. **The genera of Sapotaceae**. The New Botanical Garden, New York. 295p.
- REIS, L. P.; SILVA, J. N. M.; REIS, P. C. M.; CARVALHO, J. O. P.; QUEIROZ, W. T.; RUSCHEL, A. R. Efeito da exploração de impacto reduzido em algumas espécies de Sapotaceae no leste da Amazônia. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 395-406, 2013.

SILVA JUNIOR, J. F.; BEZERRA, J. E. F.; LEDERMAN, I. E.; MOURA, R. J. M. D. O sapotizeiro no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 86-99, 2014.

SILVA, M. A. Balateiros da Flota Paru: relações de trabalho, conhecimentos tradicionais e memória como experiência social. **Revista Ciências da Sociedade**, v. 2, n. 3, p. 260-280, 2018.

SIMONIAN, L. T. L. Relações de Trabalho e de Gênero nos Balatais. In: **Amazônia: políticas públicas e diversidade cultural**, p. 195- 232, 2006.

SOUZA, B. R. G. **Balata**: da floresta à feira. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia) - Universidade Federal do Oeste do Pará. Santarém, 2018.

STEVENS, P. F. (2001 onwards). **Angiosperm Phylogeny Website**. Version 14, July 2017. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.

SWENSON, U.; ANDERBERG, A. A. Phylogeny, character evolution, and classification of Sapotaceae (Ericales). **Cladistics**, v. 21, n. 2, p. 101-130, 2005.

CAPÍTULO 1 ANATOMIA DA MADEIRA E CARVÃO DE 5 SAPOTACEAE

RESUMO

A descrição e identificação anatômica da madeira constituem-se como as etapas iniciais para uma correta e eficiente destinação de determinado espécimen assim como agente ainda imprescindível na fiscalização do comércio de madeiras no Brasil e no mundo. A manutenção das características qualitativas de seu material de origem no carvão vegetal, portanto possui o mesmo papel na fiscalização de procedências irregulares e estudos arqueológicos. Portanto, o objetivo deste capítulo é a descrição anatômica da madeira e carvão vegetal de cinco sapotáceas provenientes de duas localidades diferentes em uma reserva extrativista no Pará. A partir da coleta na altura da base de um disco por árvore foram realizadas as descrições macroscópicas e microscópicas, sendo esta última de forma qualitativa e quantitativa, sendo também aplicada ao carvão. Qualitativamente, as amostras possuem muitas semelhanças, contudo as diferenças mais marcantes são a descontinuidade de alguns raios no plano transversal para *Manilkara* sp. II e *Manilkara* sp. V, característica ausente nas demais, e a presença de fibras septadas em *Manilkara* sp. IV. Quantitativamente existem algumas diferenças, mas que não aparentam correlação. Como esperado, o carvão vegetal manteve as características qualitativas de seu material de origem e apresentou variações nos caracteres quantitativos como resultado do processo de carbonização. A densidade de todas as amostras foi próxima à 0,9 g/cm³. Pelas características apresentadas, as amostras estudadas pertencem à família Sapotaceae e ao gênero *Manilkara* e variam entre espécies e/ou subespécies.

Palavras chave: Madeiras amazônicas; Descrição anatômica; Floresta natural; MEV madeira;
MEV carvão vegetal.

ABSTRACT

The description and anatomical identification of the wood constitute the initial steps for a correct and efficient destination of a determined specimen and also a currently essential agent in the inspection of the wood trade in Brazil and worldwide. The preservation of the qualitative characteristics of wood in its resulting charcoal, therefore, has the same role in the inspection of material from illegal origins and verification for archaeological studies. Thus, the objective of this chapter is the anatomical description of the wood and charcoal of five sapotaceae from two different locations in an Extractivist Reserve in Pará state. After the collection of one disk per tree in the base, macroscopic and microscopic descriptions were performed, whereupon the latter being qualitative and quantitative and also applied to charcoal. Qualitatively, the samples have many similarities, but the most remarkable differences were the discontinuity of some rays in the transversal section for *Manilkara* sp. II and *Manilkara* sp. V, a characteristic absent in the others, and the presence of septate fibers in *Manilkara* sp. IV. Quantitatively there are some differences, but they do not appear to be correlated. As expected, charcoal preserved the qualitative characteristics of the wood that they are derivated from and also showed variations in the quantitative characters as a result of the carbonization process. The density of all samples was close to 0.9 g / cm³. Due to the characteristics presented, the studied samples belong to the Sapotaceae family and to the genus *Manilkara* and vary between species and / or subspecies.

Keywords: Amazonian woods; Anatomical description; Natural forest; SEM wood; SEM charcoal.

1.1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material de grande valia em diversos setores da indústria e comércio doméstico. Caracterizado como um material orgânico, renovável, heterogêneo, higroscópico, poroso e anisotrópico possui um amplo espectro de aplicação, desde o uso como estaca e lenha, perpassando por móveis, biojóias até fármacos e biocompósitos.

As espécies arbóreas nativas do Brasil possuem grande apelo comercial e o mercado de madeira tropical movimenta milhões de reais no país, destacando-se o estado do Pará como grande produtor. É válido salientar neste interim o material proveniente de Reservas Extrativistas (RESEX) que trabalham com Manejo Florestal Sustentável. Ao analisar os dados provenientes do SISFLORA, da Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Pará, é possível identificar uma problemática no uso de nomes vernaculares *versus* nomes científicos.

Segundo o último relatório do SISFLORA (referente ao período de 01/01/2016 a 21/02/2016), o qual classifica primeiro pelo nome vulgar seguido do nome científico, foram comercializados 84.773,97 m³ de maçaranduba (identificados como *M. bidentata*, *M. excelsa*, *M. huberi* e *M. inundata*) e 2.509,93m³ de maparajuba (*M. amazonica*, *M. bidentata* subsp. *bidentata*, *M. excelsa*, *M. paraensis* e *M. salzmanni*), em que representaram 21,47% do montante de madeira nativa extraída e comercializada no estado. Portanto, indivíduos de mesma espécie são classificados como diferentes e possuem inclusive diferença na valoração do metro cúbico: para maçaranduba o valor médio por metro cúbico varia entre R\$207,00 e R\$226,00 e maparajuba entre R\$172,00 e R\$320,00, no que se observa que *M. bidentata* e *M. excelsa* classificadas como maçaranduba possuem valor médio por metro cúbico de R\$207,00 e as mesmas espécies vendidas como maparajuba tem valor médio por metro cúbico como R\$320,00 (subsp. *bidentata*) e R\$201,00, respectivamente. É válido salientar a presença de sinonímias no relatório como é o caso de *M. amazonica*, uma sinonímia para *M. bidentata*, sendo usadas como espécies distintas no SISFLORA. Isso reflete a situação taxonômica da família Sapotaceae e do gênero *Manilkara*, o qual possui sinonímias dentro do mesmo gênero e com os gêneros distintos, sendo os mais comuns *Pouteria*, *Mimusops*, *Micropholis* e *Chrysophyllum* (JBRJ, 2020).

Essa problemática é objeto do presente estudo, pois os parobotânicos das duas localidades estudadas da Reserva Extrativista Verde Para Sempre apresentaram divergência de identificação entre indivíduos vulgarmente chamados de maçaranduba e maparajuba. Segundo os parobotânicos de duas comunidades analisadas, a diferenciação em campo entre esses indivíduos está na coloração das folhas, em que a maçaranduba apresenta folha discolor

(cor verde na face adaxial e amarela na face abaxial) e a maparajuba apresenta a mesma coloração nas duas faces, e quantidade de látex exsudada quando do corte do lenho, contudo apresentando característica anatômica de lenho semelhantes. Nos trabalhos científicos a maçaranduba (ou maçaranduba verdadeira) é comumente relacionada a *Manilkara huberi* e o nome vulgar maparajuba a *Manilkara bidentata*. Contudo, diversas espécies do gênero *Manilkara* apresentam a mesma coloração em suas folhas e a morfologia destas pode variar entre espécies e dentro de um mesmo indivíduo. Portanto, a análise isolada das folhas não é um fator diagnóstico para a correta identificação em campo da espécie de *Manilkara* analisada, sendo, portanto, necessária a coleta de flores, frutos e madeira para uma adequada confirmação.

Sendo assim, a correta identificação de indivíduos é um fator de extrema importância, pois, além do impacto econômico, a incorreta identificação pode resultar em produtos de qualidade inferior e a superexploração de espécies. Na realização do inventário florestal pelos parobotânicos a identificação dos espécimes é realizada utilizando seus conhecimentos empíricos, não sendo recolhidos materiais para a confirmação das espécies estabelecidas em campo para posterior confirmação em herbário (MARTINS-DA-SILVA, 2002; MARTINS-DA-SILVA; HOPKINS; THOMPSON, 2003; PROCÓPIO; SECCO, 2008).

Quando não se tem material vivo para a identificação, é possível realizá-la por meio da anatomia do lenho. A identificação da madeira é realizada tradicionalmente pela descrição dos caracteres anatômicos macroscópicos e microscópicos que a compõem em conjunto com a consulta de material de coleções, referências na literatura e o uso de chaves de identificação. Este campo da tecnologia da madeira é de suma importância para a correta valoração e emprego de determinada madeira de acordo com o potencial fundamentado em suas propriedades anatômicas, físico-químicas e mecânicas (GOMES et al., 2002; MACHIORI, 2004; LOBÃO et al., 2011).

Para a família Sapotaceae, em especial os gêneros pertencentes a mesma tribo e subtribo, a diferenciação por meio do lenho é bastante desafiadora e muitas vezes é possível realizá-la apenas a nível de gênero devido à similaridade entre as espécies e a inexistência de um caractere diagnóstico expressivo que ajude na distinção até mesmo entre gêneros.

Outra variável a ser considerada é a plasticidade dos constituintes anatômicos do lenho frente a variações ecológicas a curto ou longo prazo. A variação estrutural é vinculada a adaptações funcionais em razão de condicionantes edafoclimáticas e do processo de desenvolvimento da árvore, portanto variando também com a idade, podendo resultar em comportamentos estruturais distintos entre indivíduos de mesma espécie, mas com condições

distintas de crescimento. A variação fenotípica portanto é uma adaptação ecológica correlata também à evolução, possibilitando portanto, diferentes comportamentos da estrutura do lenho entre indivíduos de uma mesma população, espécies, gênero ou família, conduzindo para a afirmação de que são variações genéticas acarretadas também por seleção natural (CARLQUIST, 1975; BAAS et al., 1983; METCALFE, 1983; ALVES; ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000; DICKISON, 2000; MARCATI et al., 2001; ALVES; ANGYALOSSY-ALFONSO, 2002; DENARDI; MACHIORI, 2005; MARCATI et al., 2006).

Mesmo em uma família botânica com marcante homogeneidade, como é o caso de Sapotaceae, é possível observar essas variações. Analisando os trabalhos sobre anatomia do lenho de Sapotaceae de Kukachka (1981) e Costa (2006), especificamente o gênero *Manilkara* com mais de 250 indivíduos somando ambos estudos, há diferentes relatos quanto aos caracteres qualitativos e quantitativos. Por exemplo, o primeiro autor relata as camadas de crescimento como pouco distintas ou indistintas, enquanto a segunda considera este comportamento como exceção e relata três marcadores distintos para a identificação de camadas de crescimento na maioria dos indivíduos analisados e os diâmetros dos poros variam de 89 μm a 197 μm para o primeiro e de 50 μm a 160 μm para a segunda, apresentando um considerável faixa de variação.

O destaque para este gênero neste trabalho decorre pela sua importância econômica, com destaque no Brasil para a madeira de maçaranduba, a qual é utilizada para os mais diversos fins, dos mais rústicos como construção civil pesada, até os mais sofisticados como instrumentos musicais e artigos de decoração, devido a sua alta densidade pode ser também utilizada para fins energéticos (LONGUI et al., 2010; NOBRE et al., 2015; MOLINA et al., 2016).

Como após o processo de carbonização o carvão vegetal conserva os caracteres anatômicos qualitativos da madeira de origem, oportuniza também a fiscalização deste material a partir de coleções de referência. A Antracologia é a área da ciência responsável pelo estudo desse material e seus resultados impactam diretamente em estudos paleoecológicos e paleoetnobotânicos na compreensão do uso histórico de espécies madeireiras e sua ecologia, assim como na fiscalização de material de procedência irregular e qualidade do carvão por meio de sua identificação (GONÇALVES, 2010).

Portanto, o objetivo deste capítulo é a descrição anatômica de cinco sapotáceas e de seu carvão vegetal.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

No presente estudo foram utilizadas cinco árvores popularmente conhecidas como maçaranduba e maparajuba, provenientes de duas localidades diferentes em manejo florestal sustentável realizado na Unidade de Conservação da categoria Reserva Extrativista Verde para Sempre localizada em Porto de Moz no estado do Pará.

A coleta foi realizada mediante autorização para finalidade científica número 64485-1 do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Instituto Chico Mendes (ICMBio) via Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO). Ademais os espécimes utilizados neste trabalho também se encontram devidamente cadastrados no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen) sob o registro de número A1D7BF7.

1.2.1 Descrição da RESEX

A Reserva Extrativista Verde para Sempre, criada pelo Decreto Federal s/n de 08 de novembro de 2004, possui uma área aproximada de 1.289.362,78 hectares e é uma unidade de conservação de uso sustentável em esfera federal sob a responsabilidade do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Ao norte da unidade de conservação encontra-se o Rio Amazonas, ao oeste a Resex Renascer e ao leste é delimitada pelo Rio Xingu em Porto de Moz, Pará. O município de Porto de Moz, no qual a unidade está localizada, está situado na região do Baixo Xingu, na mesorregião do Baixo Amazonas em que o principal acesso é por via fluvial (SEREJO; CAL, 2016). A unidade de conservação abriga 110 comunidades e quase 3000 famílias envolvidas no manejo florestal com exploração de impacto reduzido (MF-EIR), agricultura de subsistência, agropecuária, caça e pesca (BRASIL, 2019; ORTIZ, 2018; VIA AMAZÔNIA, 2016).

A vegetação predominante é de floresta ombrófila densa seguida por formações higrófilas de várzea (Tabela 1.1), encontra-se no domínio morfoclimático dos planaltos amazônicos rebaixados e planícies, possuindo extensas áreas tabulares a 200m acima do nível do mar em formações de rochas sedimentares (IMAZON, 2006). O clima é definido como equatorial quente e úmido variando entre 22°C e 40°C com médias anuais de 27°C e pluviosidade média anual entre 3100mm até 5600mm (UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO BRASIL, s/d).

TABELA 1.1 - QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS DEFINIDAS PELAS CLASSES DE COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA PARA A RESERVA EXTRATIVISTA VERDE PARA SEMPRE, PORTO DE MOZ – PA

| Classe | Área (ha) | (%) |
|-----------------------------------------|---------------------|------------|
| Floresta ombrófila densa aluvial | 54.655,19 | 4,22 |
| Floresta ombrófila densa dos planaltos | 498.293,28 | 38,47 |
| Floresta ombrófila densa dos tabuleiros | 389.618,13 | 30,07 |
| Floresta higrófilas de várzea | 285.731,12 | 22,05 |
| Agropecuária | 40.446,41 | 3,12 |
| Produção familiar | 13.828,20 | 1,05 |
| Capoeira | 3.221,71 | 0,25 |
| Corpo d'água | 10.049,35 | 0,77 |
| Total | 1.295.843,39 | 100 |

FONTE: WATRIN E OLIVEIRA (2009).

1.2.2 Coleta do material

A coleta foi realizada nas comunidades Arimum e Paraíso inseridas dentro da Reserva Extrativista Verde Para Sempre. Foi coletado um disco de cada árvore, próximo à base e acima das sapopemas, sendo uma árvore de maparajuba e uma árvore de maçaranduba de cada localidade, georreferenciadas, além de uma amostra de Sapotaceae não identificada (NI), totalizando cinco amostras de cinco indivíduos diferentes. De acordo com inventário florestal fornecido pelos gestores, na UPA em questão da comunidade Arimum, constam no inventário 214 indivíduos de maçaranduba (*Manilkara huberi*) computando um volume de 1377m³ e 69 indivíduos de maparajuba (*M. amazonica*) resultando em 301m³; para a comunidade Paraíso são 252 indivíduos de maçaranduba (*M. huberi*) e 1378,57m³ enquanto para maparajuba (*M. amazonica*) são 16 indivíduos e 57,17m³. As coletas foram realizadas no período de 15 a 25 de agosto de 2018 (Tabela 1.2) utilizando motosserra para a derrubada das árvores e obtenção das amostras. Em campo, as amostras foram secas ao ar e posteriormente foram transportadas para o Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira na Universidade Federal do Paraná, no Campus Botânico, na cidade de Curitiba, Paraná.

TABELA 1.2 – INFORMAÇÕES DAS AMOSTRAS

| Amostra | Localidade | Nome popular | H (m) | DAP (m) |
|----------------|-------------------|---------------------|--------------|----------------|
| 1477 | Arimum | Maçaranduba | 16 | 0,73 |
| 1064 | Arimum | Maparajuba | 20 | 0,64 |
| 1386 | Paraíso | Maçaranduba | 16 | 0,82 |
| 161 | Paraíso | Maparajuba | 15 | 0,86 |
| NI | - | - | - | - |

FONTE: A AUTORA (2020).

1.2.3 Caracterização anatômica das amostras

Os discos foram reduzidos a corpos de prova, na serraria, com dimensões aproximadas de 2,5 cm x 2,5 cm x 3,5 cm, utilizando apenas madeira de cerne, dos quais seis foram destinados para a descrição anatômica (três para microscópica e três para macroscópica).

Os corpos de prova destinados para a descrição anatômica microscópica foram cozidos em água para amolecimento e em seguida foram cortados em micrótomo de deslize. Foram obtidos cortes histológicos na espessura aproximada de 25 µm dos planos transversal, tangencial e radial para posterior tripla coloração (azul de astra a 1% aquoso, acridina e crisoidina vermelha a 1% aquosa) e desidratação em série alcoólica ascendente, diafanização com acetato de butila e montagem de lâminas permanentes com o auxílio de Entellan. Para a melhor visualização de algumas estruturas foi realizado processo de maceração química de acordo com o sugerido por Franklin (1945) adaptando-se o uso de estufa de circulação forçada a 70 °C para acelerar o processo que perdurou até a dissociação das fibras. O material macerado foi colorido com safranina a 1% e utilizado para a montagem de lâminas provisórias usando água para observação em microscópio.

A descrição dos caracteres microscópicos foi realizada de acordo com o sugerido pela Associação Internacional dos Anatomistas em Madeira (IAWA, 1989) e Coradin e Muñiz (1992). Foram efetuadas 30 medições para frequência e diâmetro de vasos na seção transversal e frequência, largura e altura de raios na seção tangencial.

Foram obtidas imagens macroscópicas da madeira em estereomicroscópio Zeiss modelo Discovery-V12 com Software AxioVision. As imagens microscópicas foram obtidas em Microscópio Olympus com câmera digital acoplada. O detalhamento das características foi obtido através de Microscopia Eletrônica de Varredura, com auxílio de um equipamento de bancada MEV Hitachi TM-1000, do Laboratório de Anatomia da Madeira da UFPR e um microscópio JEOL JSM-6360LV do Centro de Microscopia Eletrônica de Varredura da UFPR.

Para a análise dos detalhes em microscópio JEOL cortes histológicos da madeira, obtidos com micrótomo de deslize, com espessura aproximada de 90 μm foram descoloridos com hipoclorito de sódio comercial diluído em água na proporção de 1:1, processo acelerado utilizando chapa de aquecimento até a descoloração total dos cortes, para posterior secagem em estufa e metalização com ouro no Centro de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal do Paraná.

1.2.4 Carbonização

Três corpos de prova de cada árvore foram selecionados de forma aleatória, devidamente identificados com lápis cópia e envolvidos em papel alumínio para a carbonização em forno mufla com controlador eletrônico microprocessado de temperatura. O regime de carbonização adotado (Tabela 1.3) foi o de rampas e patamares com temperatura final de 450 °C. O tempo total de carbonização foi de 392 min, com uma taxa calculada de 1,66 °C/min. Após o término do programa as amostras permaneceram no forno para resfriamento.

TABELA 1.3 – PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO

| Tempo (min) | Temperatura (°C) |
|-------------|------------------|
| 0 | 25 |
| 20 | 150 |
| 80 | 150 |
| 87 | 200 |
| 177 | 200 |
| 184 | 250 |
| 274 | 250 |
| 288 | 350 |
| 348 | 350 |
| 362 | 450 |
| 392 | 450 |

FONTE: A autora (2020)

A descrição dos caracteres microscópicos seguiu as recomendações da IAWA (1989), sendo efetuadas 30 medições para frequência e diâmetro de vasos na seção transversal e frequência, largura e altura de raios na seção tangencial.

Para a descrição quantitativa dos caracteres microscópicos do carvão resultante e detalhamento de algumas estruturas na madeira foi utilizado também microscópio eletrônico de varredura de bancada MEV Hitachi TM-1000 com software integrado para a obtenção de imagens.

1.2.5 Determinação de densidade básica

Duas amostras de cada árvore provenientes de parte do material dos discos não utilizado para a confecção dos corpos de prova foram utilizadas para a determinação da densidade básica de acordo com a NBR 11941 (ABNT, 2003) de forma adaptada.

1.2.6 Análises estatísticas

Os dados quantitativos foram analisados no software *Statgraphics Centurion XVI* (version 16.1.11) utilizando análise de variância (ANOVA) com erro a 5% usando teste F a um nível de 95% de confiança e subsequente *multiple range test* usando o procedimento de Fisher da mínima diferença significativa (*least significant difference*, LSD) para determinar quais médias eram significativamente diferentes entre si.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Anatomia da madeira

Em função das características anatômicas das madeiras e dados da chave de identificação do *InsideWood* (2004), as amostras foram identificadas de acordo com a tabela 1.4, apenas em nível de gênero uma vez que a similaridade entre as espécies e variedades do gênero em questão é alta, confirmando contudo que são sapotáceas que pertencem ao gênero *Manilkara*.

TABELA 1.4 – IDENTIFICAÇÃO ANATÔMICA DAS AMOSTRAS

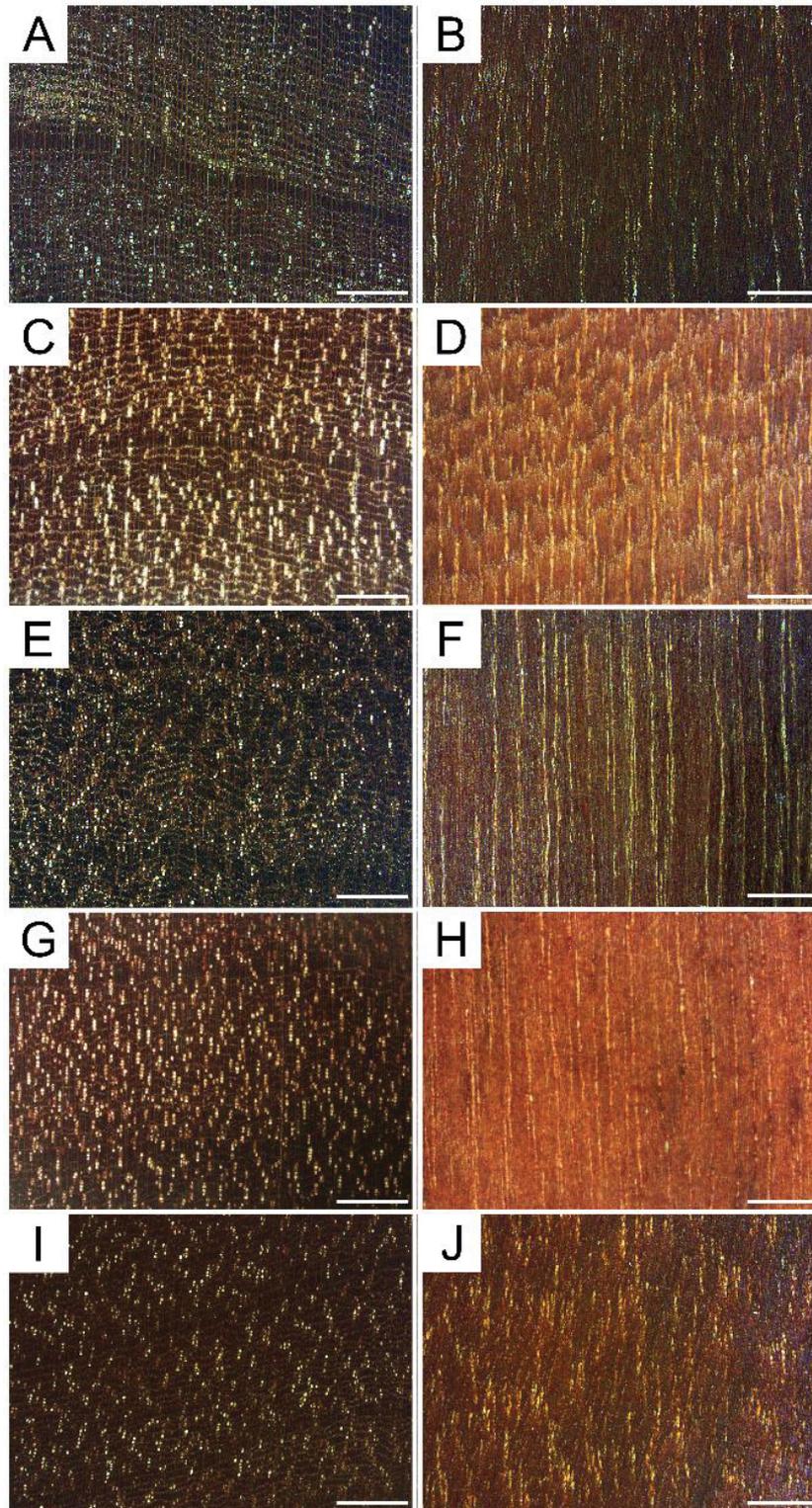
| Amostra | Localidade | Nome popular | Nome científico |
|----------------|-------------------|---------------------|--------------------------|
| 1477 | Arimum | Maçaranduba | <i>Manilkara</i> sp. I |
| 1064 | Arimum | Maparajuba | <i>Manilkara</i> sp. II |
| 1386 | Paraíso | Maçaranduba | <i>Manilkara</i> sp. III |
| 161 | Paraíso | Maparajuba | <i>Manilkara</i> sp. IV |
| NI | - | - | <i>Manilkara</i> sp. V |

FONTE: A AUTORA (2020).

Há distinção entre cerne e albúrnio nas madeiras de *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. V, enquanto há pouca distinção entre *Manilkara* sp. II e *Manilkara* sp. IV, em todas o albúrnio se apresenta amarelado; não foi possível determinar a distinção em *Manilkara* sp. I em razão das amostras disponíveis deste indivíduo não abrangerem a variação casca-medula. Todas as madeiras se caracterizam pela presença de camadas de crescimento distintas por zonas fibrosas tangenciais mais escuras; os poros são visíveis a olho nu, múltiplos radiais e obstruídos; a porosidade é difusa, o parênquima axial é visível a olho nu e se apresenta em linhas irregularmente espaçadas tendendo a reticulado. Analisando o plano tangencial, os raios são visíveis a olho nu e não estratificados. No plano radial os raios são pouco contrastados. As características macroscópicas são ilustradas na Figura 1.1.

As madeiras não apresentam brilho nem odor característico, são duras ao corte manual, possuem grã irregular e textura média. No plano longitudinal radial as amostras de *Manilkara* sp. IV, *Manilkara* sp. V e *Manilkara* sp. III não apresentam desenho, enquanto *Manilkara* sp. I e *Manilkara* sp. II raramente apresentam. Enquanto no plano longitudinal tangencial as madeiras de *Manilkara* sp. IV, *Manilkara* sp. V e *Manilkara* sp. III também não apresentam desenho, as amostras de *Manilkara* sp. I e *Manilkara* sp. II apresentam desenhos ondulatórios.

FIGURA 1.1 – IMAGENS MACROSCÓPICAS DA MADEIRA DE CINCO *Manilkara* sp.

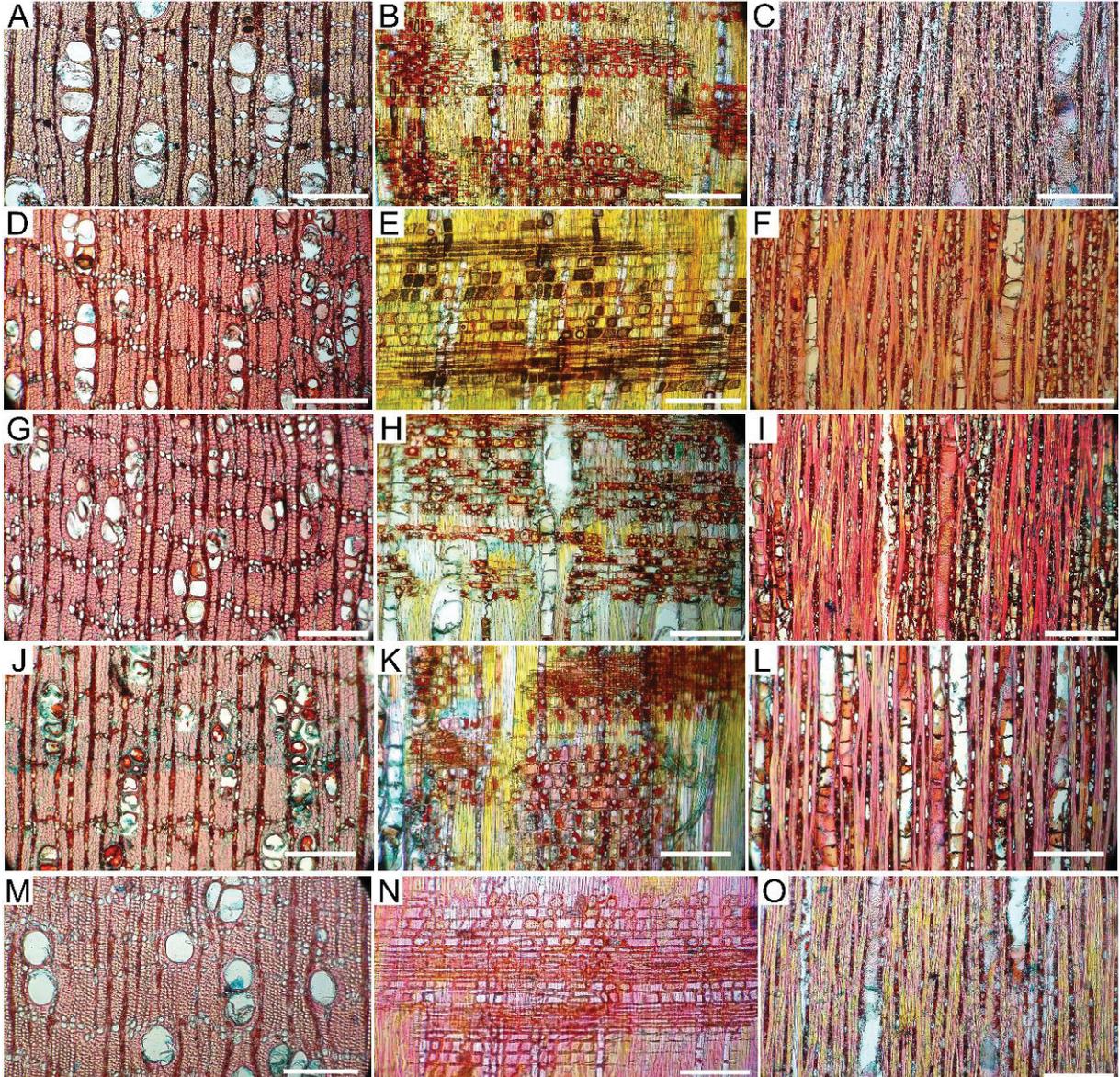


FONTE: A AUTORA (2020).

LEGENDA: Cada conjunto de duas imagens na horizontal corresponde a uma árvore, de cima para baixo e Coluna da esquerda (a - i) corresponde a seção transversal e coluna da direita (b - j) corresponde à seção tangencial: A e B – *Manilkara* sp. I; C e D – *Manilkara* sp. II; E e F – *Manilkara* sp. III; G e H – *Manilkara* sp. IV; I e J – *Manilkara* sp. V; Barra de escala = 1000 μ m.

As características anatômicas microscópicas das amostras são ilustradas nas Figuras 1.2 a 1.12 e os caracteres quantitativos estão na Tabela 1.5.

FIGURA 1.2 – IMAGENS MICROSCÓPICAS DA MADEIRA DE CINCO *Manilkara* sp.



FONTE: A AUTORA (2020).

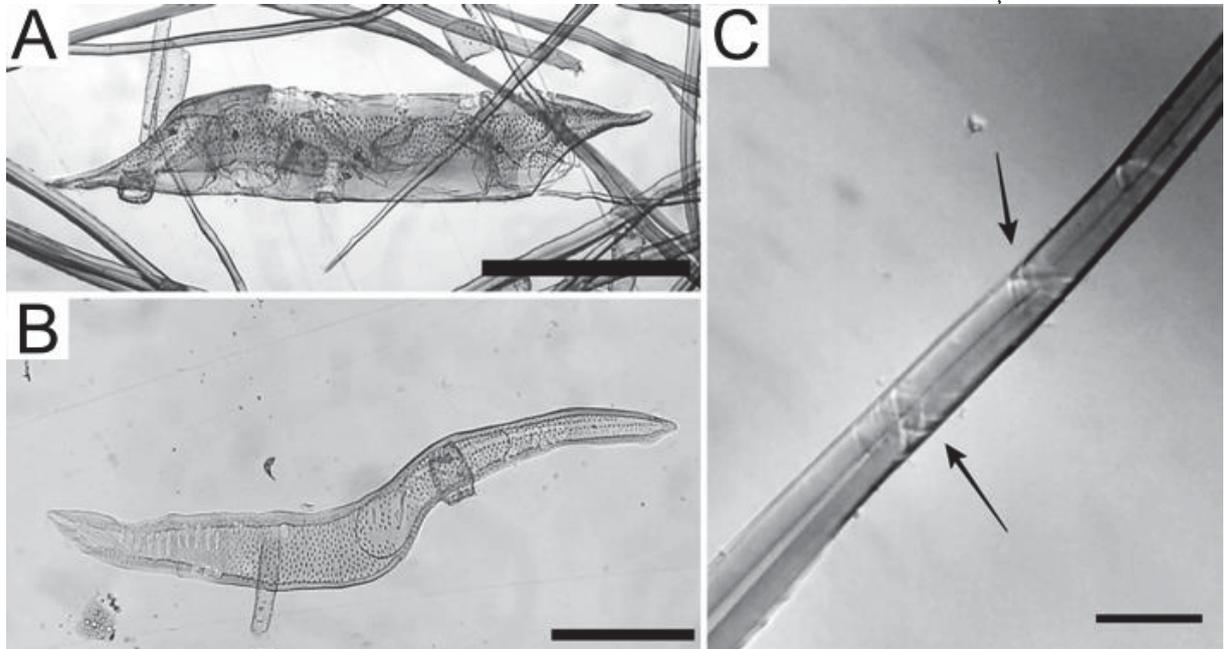
LEGENDA: Cada conjunto de três imagens na horizontal corresponde a uma árvore, de cima para baixo: *Manilkara* sp. I (A-C), *Manilkara* sp. II (D-F), *Manilkara* sp. III (G-I), *Manilkara* sp. IV (J-L), *Manilkara* sp. V (M-O). Coluna da esquerda (A-M) corresponde a seção transversal, coluna central (B-N) corresponde à seção radial e coluna da direita (C- O) corresponde à seção tangencial. Barra de escala = 300 µm.

a) Maçaranduba 1477 - *Manilkara* sp. I - Figuras 1.3 e 1.4

Os anéis de crescimento são pouco distintos por zonas fibrosas. A madeira apresenta porosidade difusa, poros múltiplos radiais de 2-7 frequentes (mais comum de 2 ou 3, menos frequente acima de 4), eventuais poros solitários, raramente presença de cachos, poros

obstruídos por tilos e conteúdo (Fig. 1.2A). Os vasos são médios com diâmetro tangencial de $68,36 - 110,44 - 148,82 \mu\text{m}$ e com pouca frequência, de $3,00 - 9,17 - 16,50/\text{mm}^2$. Placa de perfuração simples (Fig. 1.4A), pontoações intervasculares alternas e areoladas (Fig. 1.4C); pontoações raio-vasculares (Fig. 1.3A) semelhantes às intervasculares, porém maiores. Observado suave espessamento horizontal no corpo de alguns elementos de vaso (Fig. 1.4E). Alguns elementos de vaso possuem apêndices (Fig. 1.3A); alguns apêndices possuem espessamento espiralado. Foi constatada a presença de traqueídeos vasicêntricos (Fig. 1.3B), porém não foi observado espessamento nessas estruturas.

FIGURA 1.3 – IMAGENS MICROSCÓPICAS DE MACERADO DA MADEIRA DE MAÇARANDUBA 1477



FONTE: A AUTORA (2020).

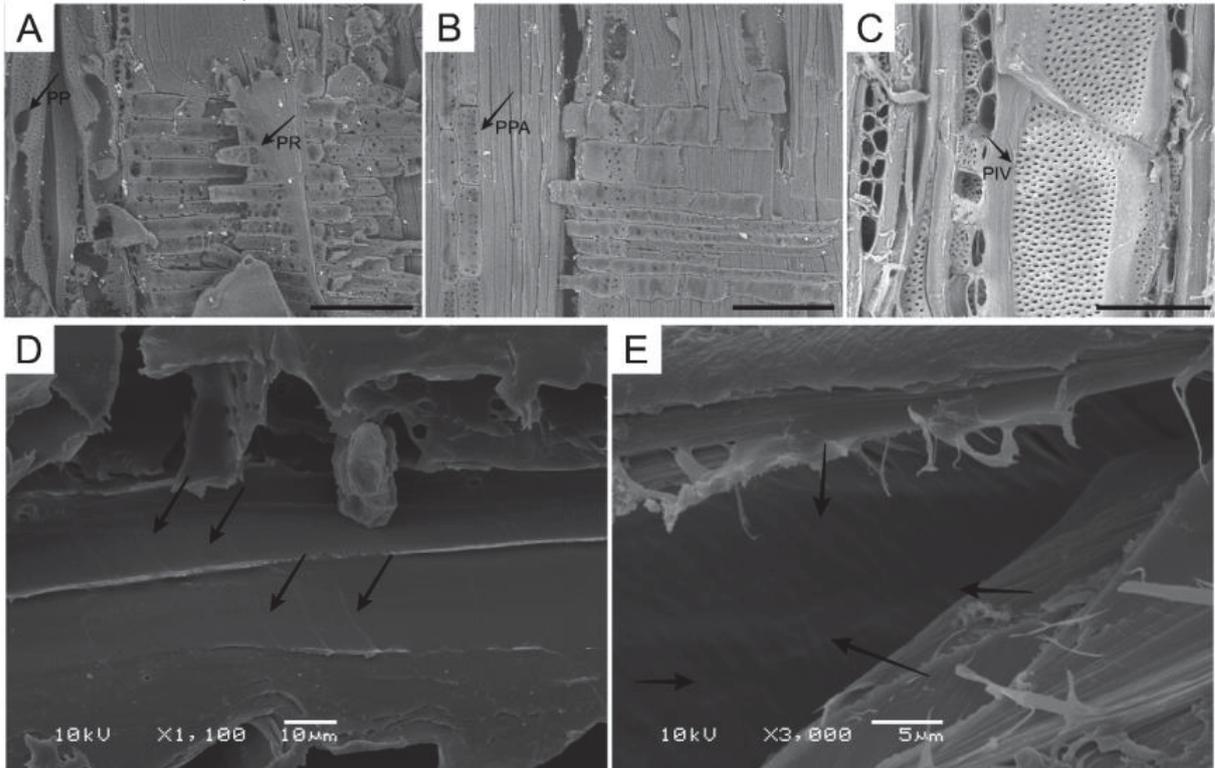
LEGENDA: Elemento de vaso com apêndices (A), traqueídeo vasicêntrico (B) e fibra contendo espessamento espiralado (C). Barra de escala = $200\mu\text{m}$ (A); $150 \mu\text{m}$ (B) e $15\mu\text{m}$ (C).

Parênquima axial em linhas com uma a duas células de largura (Fig. 1.2A). Algumas células de parênquima possuem conteúdo; presença de cristais prismáticos em câmaras em células de parênquima (2 - 4 cristais por célula de parênquima e com dimensões semelhantes); parênquima com pontoação simples (Fig. 1.4B). Foi observada a presença de cristais aciculados e alongados. As fibras são não septadas, com pontoações simples e com paredes muito grossas, algumas possuem suave espessamento espiralado (Fig. 1.3C e 1.4D).

Os raios são heterogêneos com células procumbentes, quadradas e eretas misturadas no corpo do raio (Fig. 1.2B), não estratificados, unisseriados a bisseriados, raramente com três células de largura (Fig. 1.2C). São altos, variando de duas a vinte células e $130,83 - 375,35 -$

891,54 μm , finos com largura de 11,64 – **24,05**–46,00 μm e poucos, com frequência de 7,00 – **9,57** – 14,00 por mm linear. Presença de conteúdo nas células do raio e de cristais prismáticos. Células do raio com paredes disjuntas (recorrente em células eretas e quadradas, raramente presente em células procumbentes).

FIGURA 1.4 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA MADEIRA DE MAÇARANDUBA 1477



FONTE: A AUTORA (2020).

LEGENDA: Seções radial (A, B, D e E) e tangencial (C e I). Estruturas indicadas por setas: Placa de perfuração simples (PP), Pontoação radio-vascular (PR), Pontoação simples em parênquima axial (PPA), Pontoação intervascular alterna areolada (PIV); espessamento espiralado em fibras (D) e em corpo de elemento de vaso (E). Barra de escala = 150 μm (A e B) e 100 μm (C)

b) Maparajuba 1064 - *Manilkara* sp. II – Figura 1.5 e 1.6

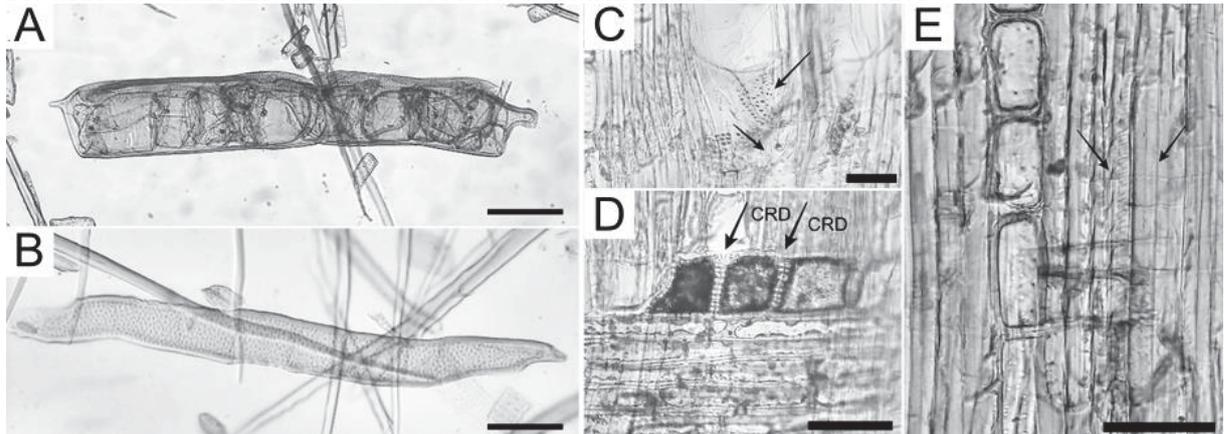
Os anéis de crescimento são pouco distintos por zonas fibrosas. A madeira apresenta porosidade difusa, poros múltiplos radiais de 2 > 5 frequentes (mais comum de 2 a 4, eventualmente 5 e raramente mais de 5), significativa presença de cachos e eventuais poros solitários; poros obstruídos por tilos e conteúdo (Fig. 1.2D). Os vasos são pequenos com diâmetro tangencial de 42,90–**63,25**–91,15 μm e poucos, com frequência de 11,00 - **18,17**–30,00/mm². Placa de perfuração simples (Fig. 1.6C), pontoações intervasculares alternas e areoladas (Fig. 1.6B); pontoações raio-vasculares semelhantes às intervasculares, porém

maiores (Fig. 1.6A). Alguns elementos de vaso possuem apêndices (Fig. 1.5A, C); observado espessamento nos apêndices dos elementos de vaso (Fig. 1.5C e 1.6E). Não observado espessamento no corpo dos elementos de vaso. Foi constatada a presença de traqueídeos vasicêntricos (Fig. 1.5B), porém não foi observado espessamento nessas estruturas.

Parênquima axial em linhas com até três células de largura (Fig. 1.2D). Presença de cristais prismáticos em câmaras, dois por célula de parênquima com dimensões semelhantes. Parênquima axial com pontoações simples (Fig. 1.6B). Presença de conteúdo nas células do parênquima. Observada a presença de cristais aciculados. As fibras são não septadas com pontoações simples e paredes muito grossas, algumas possuem suave espessamento espiralado (Fig. 1.5E e 1.6D).

Os raios são heterogêneos com células procumbentes, quadradas e eretas misturadas no corpo do raio (Fig. 1.2E), não estratificados, unisseriados a bisseriados (Fig. 1.2F). São baixos com altura variando de duas a vinte células e $164,30 - 348,43 - 546,38 \mu\text{m}$, finos, largura de $14,62 - 23,22 - 37,69 \mu\text{m}$ e poucos, com frequência de $5,00 - 9,43 - 15,00$ por mm linear. Presença de conteúdo nas células do raio e de cristais prismáticos. Células do raio com paredes disjuntas (Fig. 1.5D; mais expressiva em células eretas do que em células quadradas, menos frequente e mais suave em células procumbentes). Na seção transversal alguns raios se apresentam descontínuos (Fig. 1.2D).

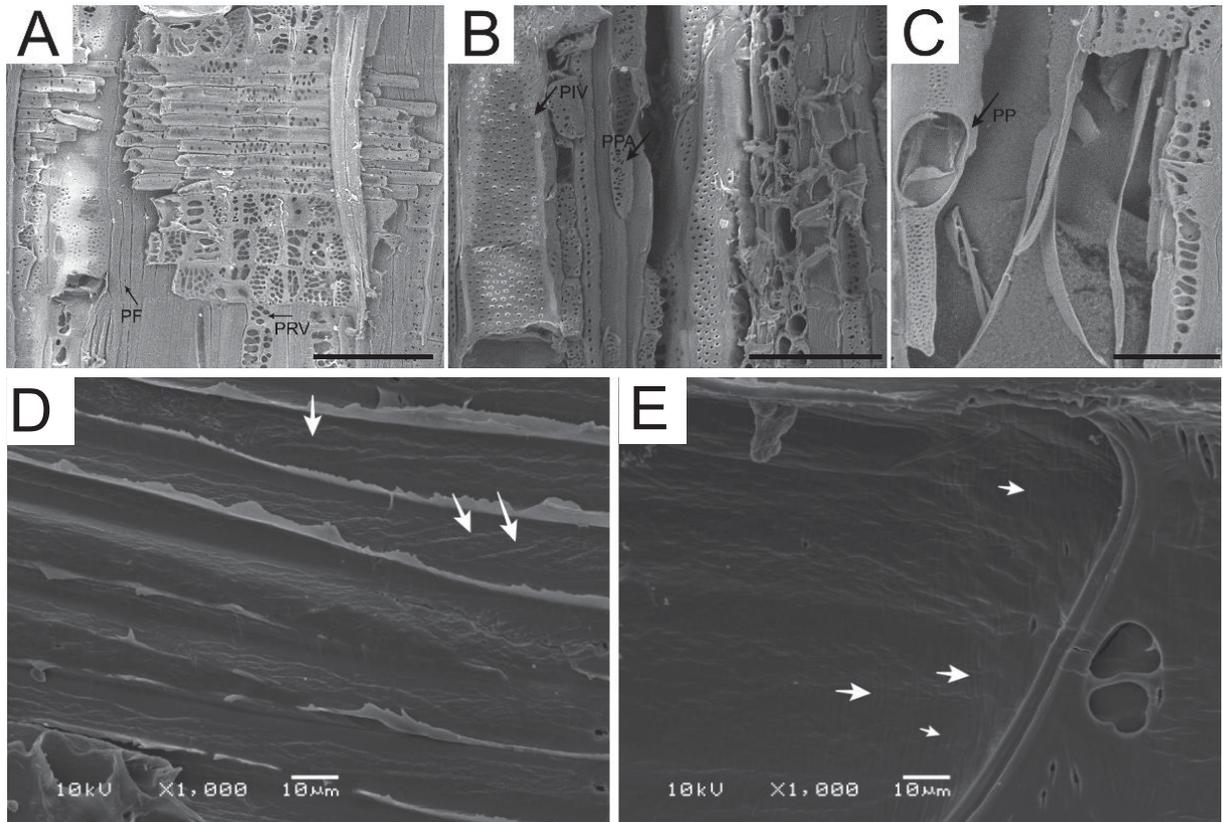
FIGURA 1.5 – IMAGENS MICROSCÓPICAS DA MADEIRA DE MAPARAJUBA 1064



FONTE: A AUTORA (2020).

Macerado (A-B) e seção radial (C-E). Elemento de vaso com apêndice (A), traqueídeo vasicêntrico (B), células de parênquima radial com paredes disjuntas indicado por setas em D, espessamento espiralado em apêndice de elemento de vaso (indicado por setas) e espessamento espiralado em fibra (indicado por seta), respectivamente em C e E. Barra de escala = $150 \mu\text{m}$ (A e B); $15 \mu\text{m}$ (C); $30 \mu\text{m}$ (D e E).

FIGURA 1.6 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA MADEIRA DE MAPARAJUBA 1064



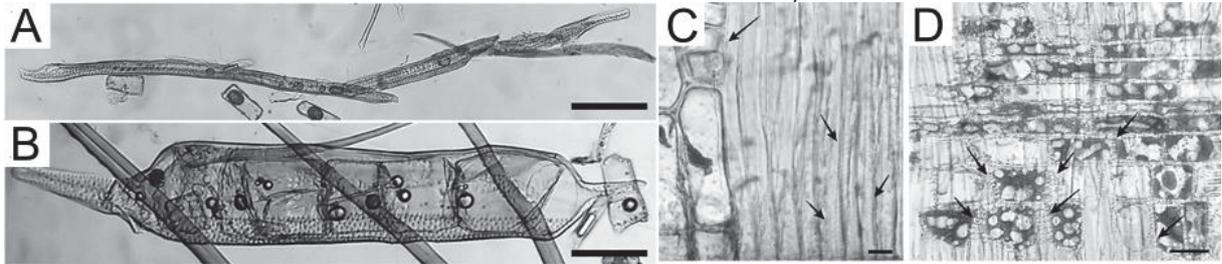
FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Seção radial (A, C, E e F) e tangencial (B). Elementos indicados por setas: (A) Pontoação simples em fibras (PF); Pontoação radio-vascular (PRV); (B) PPA: Pontoação simples em parênquima axial e PIV: Pontoação intervascular alterna areolada; (C) PP: Placa de perfuração simples; (D) Espessamento espiralado em fibras; (E) Espessamento espiralado em apêndice de elemento de vaso. Barra de escala = 100µm (A-C).

c) Maçaranduba 1386 - *Manilkara* sp. III – Figuras 1.7 e 1.8

Os anéis de crescimento são pouco distintos por zonas fibrosas. A madeira apresenta porosidade difusa, poros múltiplos radiais de 2 a > 5 frequentes (mais comum de 2 a 4, eventualmente 5 e raramente mais de 5), significativa presença de cachos e menor frequência de poros solitários; poros obstruídos por tilos e conteúdo (Fig. 1.2G). Os vasos são pequenos com diâmetro tangencial de 42,98 – 62,28 – 82,30 µm e numerosos, com frequência de 13,50–21,00 – 28,00/mm². Placa de perfuração simples (Fig. 1.8E); pontoações intervasculares alternas e areoladas (Fig. 1.8C); pontoações raio-vasculares semelhantes às intervasculares, porém maiores (Fig. 1.8A). Alguns elementos de vaso possuem apêndices (Fig. 1.7B); não observado espessamento nos apêndices. Foi observado espessamento no corpo dos elementos de vaso (Fig. 1.8E). Foi constatada a presença de traqueídeos vasicêntricos (Fig. 1.7A), porém não foi observado espessamento nessas estruturas.

FIGURA 1.7 – IMAGENS MICROSCÓPICAS DA MADEIRA DE MAÇARANDUBA 1386



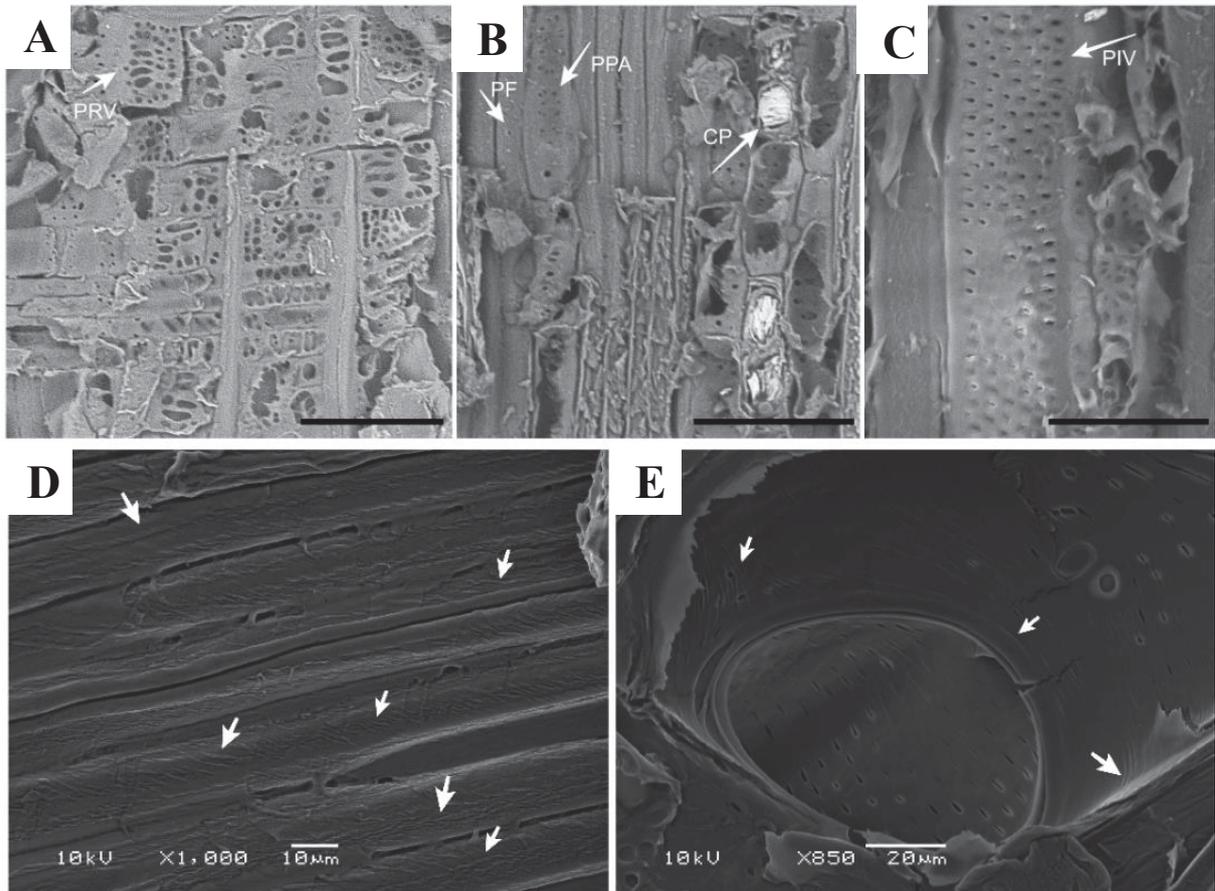
FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Macerado (A-B) e seção radial (C e D). Traqueídeo vasicêntrico (A) e elemento de vaso com apêndice (B). Estruturas indicadas por setas: (C) cristais prismáticos em células de parênquima e espessamento espiralado em fibras e (D) células de parênquima radial com paredes disjuntas. Barra de escala = 150 μm (A e B); 75 μm (C) e 30 μm (D).

Parênquima axial em linhas irregulares com uma a duas células de largura, eventualmente até três células de largura (Fig. 1.2G). Variação frequente de tamanho das células de parênquima na seção transversal. Algumas células de parênquima possuem conteúdo; presença de cristais prismáticos em câmaras (Fig. 1.7C), geralmente dois, raramente um, eventualmente três cristais por célula de parênquima. As fibras são não septadas e com paredes muito grossas, tem pontoações simples (Fig. 1.8B) e algumas possuem suave espessamento espiralado (Fig. 1.7C e 1.8D).

Os raios são heterogêneos com células procumbentes, quadradas e eretas misturadas no corpo do raio (Fig. 1.2H), não estratificados, unisseriados a bisseriados; eventualmente porção uni e bisseriada no mesmo raio (Fig. 1.2I). São baixos, com altura variando de duas (raramente) a mais de 10 células e 113,83 – **353,44** – 758,20 μm , finos, com largura de 11,54 – **23,70** – 42,31 μm e poucos, com frequência de 6,00 – **8,93** – 12,00 por mm linear. Presença de conteúdo nas células do raio e de cristais prismáticos. Células do raio com paredes disjuntas (Fig. 1.7D).

FIGURA 1.8 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA MADEIRA DE MAÇARANDUBA 1386



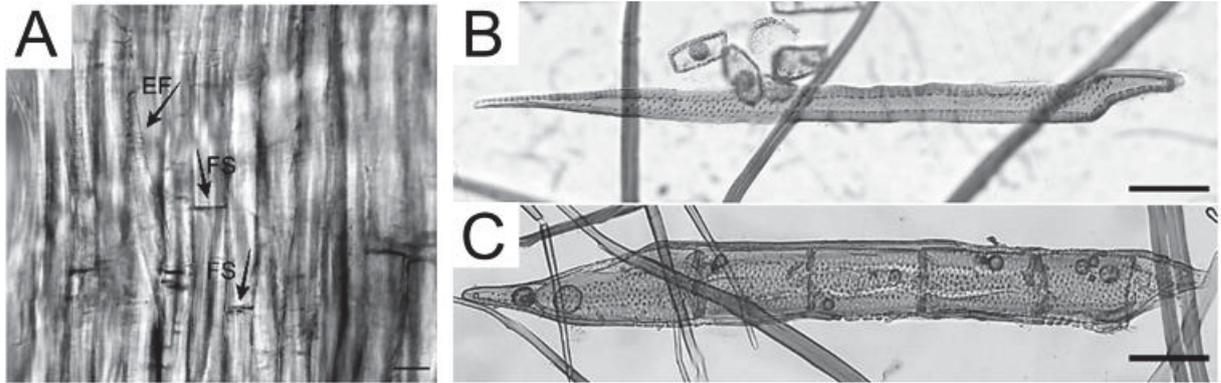
FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Tangencial (B e C) e radial (A, D e E). Estão indicados por setas: PRV – pontoção raio-vascular (A); PF - Pontoção simples em fibra, PPA - Pontoção simples em parênquima axial e CP – cristal prismático (B); PIV: Pontoção intervascular alterna areolada (C); espessamento espiralado em fibras (D); espessamento em linhas horizontais no corpo do elemento de vaso (E). Barra de escala = 100μm (A-C).

d) Maparajuba 161 - *Manilkara sp. IV* – Figuras 1.9 e 1.10

Os anéis de crescimento são pouco distintos por zonas fibrosas. A madeira apresenta porosidade difusa, poros múltiplos radiais de 2 a 7 frequentes (mais comum de 2 a 4), presença de poros solitários, raramente cachos; poros obstruídos por tilos e conteúdo (Fig. 1.2J). Os vasos são pequenos, com diâmetro tangencial de 42,90 – 74,25 – 100,57 μm e numerosos, com frequência de 9,00 – 21,95 – 34,00/mm². Placa de perfuração simples; pontoções intervasculares alternas e areoladas (Fig. 1.10C); pontoções raio-vasculares semelhantes às intervasculares, porém maiores (Fig. 1.10A). Alguns elementos de vaso possuem apêndices (Fig. 1.9C). Não observado espessamento no corpo dos elementos de vaso. Foi constatada a presença de traqueídeos vasicêntricos (Fig. 1.9B), porém não foi observado espessamento.

FIGURA 1.9 – IMAGENS MICROSCÓPICAS DA MADEIRA DE MAPARAJUBA 161



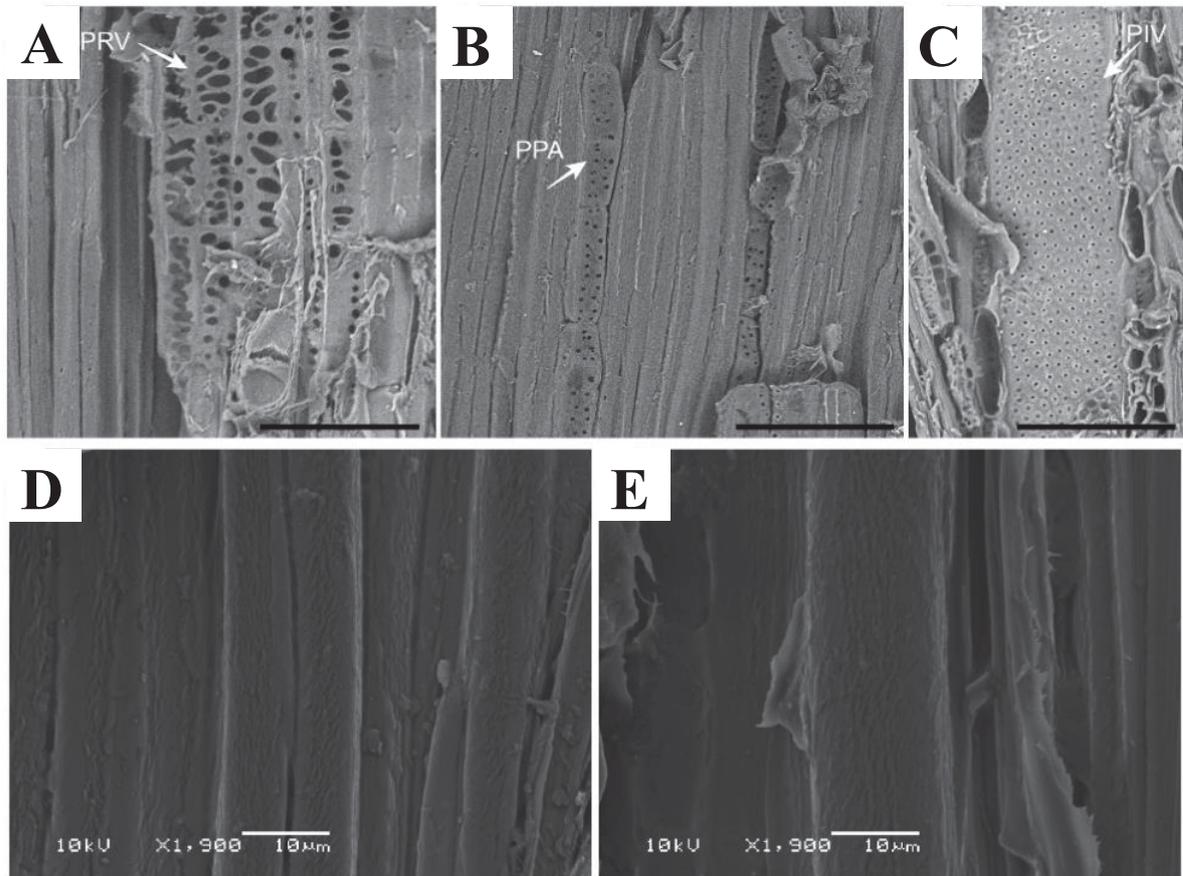
FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Macerado e seção tangencial (A). Indicados por setas: FS - fibras septadas e EF - espessamento espiralado em fibra (A). Traqueídeo vasicêntrico (B) e elemento de vaso com apêndice (C) ambos provenientes de macerado. Barra de escala = 30 μm (A); 100 μm (B e C).

Parênquima axial em linhas irregulares com geralmente uma célula de largura, podendo chegar até três células de largura (Fig. 1.2J). Existência de conteúdo e cristais prismáticos em câmaras em células de parênquima axial; mais de um cristal por célula tanto com dimensões semelhantes como também de tamanhos distintos. A maior parte das fibras são não septadas, porém foram eventualmente observadas algumas fibras septadas (Fig. 1.9A); fibras com paredes muito grossas, algumas possuem suave espessamento espiralado (Fig. 1.9D, 1.10D, E); pontoações simples.

Os raios são heterogêneos com células procumbentes, quadradas e eretas misturadas no corpo do raio (Fig. 1.2K), não estratificados, unisseriados a bisseriados; presença de porção uni e bisseriada no mesmo raio (Fig. 1.2L). São baixos, com altura variando de duas a mais de 20 células e 145,97 – **479,06** – 896,11 μm , finos, com largura de 13,08 – **25,54** – 44,62 μm e poucos, com frequência de 9,00 – **11,73** – 14,00 por mm linear. Presença de conteúdo nas células do raio e de cristais prismáticos. Células do raio com paredes disjuntas.

FIGURA 1.10 - IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA MADEIRA DE MAPARAJUBA 161



FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Seção radial (A, D e E) e tangencial (B e C). Indicados por setas: PRV- Pontoação radio-vascular (A); PPA - Pontoação simples em parênquima axial (B); PIV: Pontoação intervascular alterna areolada (C). Espessamento espiralado em fibras (D e E). Barra de escala = 100 μm (A-C).

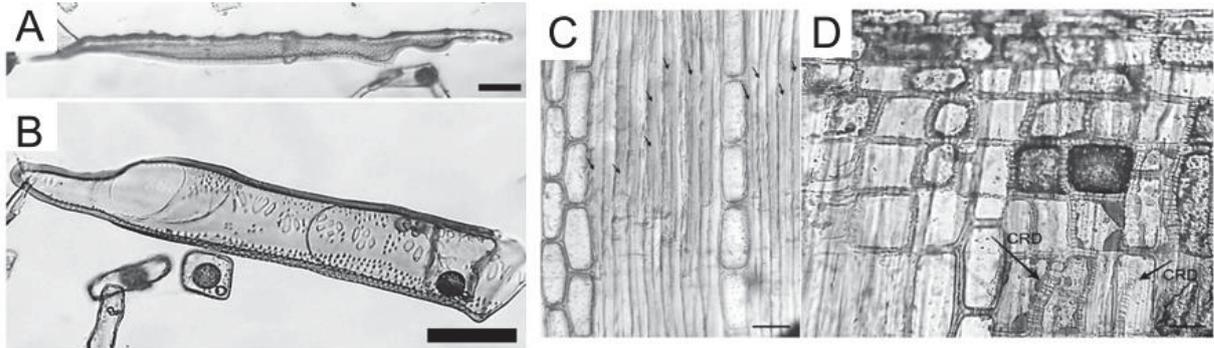
e) Amostra NI – *Manilkara* sp. V - Figuras 1.11 e 1.12

Os anéis de crescimento são pouco distintos por zonas fibrosas. A madeira apresenta porosidade difusa, poros múltiplos radiais de 2 a 7, em proporções semelhantes, raros cachos e múltiplos tangenciais; poros obstruídos por tilos e conteúdo (Fig. 1.2M). Os vasos são médios, com diâmetro tangencial de 71,10 – 111,63 – 140,78 μm e poucos com frequência de 4,00 – 9,48 – 16,00/ mm^2 . Placa de perfuração simples (Fig. 1.12C), pontoações intervasculares alternas e areoladas (Fig. 1.12B); pontoações raio-vasculares semelhantes às intervasculares, porém maiores (Fig. 1.12A). Alguns elementos de vaso possuem apêndices (Fig. 1.11B). Não observado espessamento no corpo dos elementos de vaso. Foi constatada a presença de traqueídeos vasicêntricos (Fig. 1.11A), porém não foi observado espessamento nessas estruturas.

Parênquima axial em linhas irregulares com uma a duas células de largura, raramente até três células de largura tendendo a um reticulado irregular (Fig. 1.2M). Algumas células de parênquima possuem conteúdo; presença de cristais prismáticos em câmaras, mais de um cristal por célula de parênquima, com dimensões semelhantes. Observada a presença de cristais aciculares. As fibras são não septadas e com paredes muito grossas, algumas possuem suave espessamento espiralado (Fig. 1.11C, 1.12D, E); pontoações simples.

Os raios são heterogêneos com células procumbentes, quadradas e eretas misturadas no corpo do raio (Fig. 1.2N), não estratificados, unisseriados a bisseriados (Fig. 1.2O). São baixos, com altura variando de duas a mais de 20 células e 121,48 – 388,67 – 899,98 μm , finos, com largura de 17,29 – 24,35 – 36,15 μm e poucos, com frequência de 8,00 – 10,57 – 14,00 por mm linear. Presença de conteúdo nas células do raio e de cristais prismáticos. Células do raio com paredes disjuntas (Fig. 1.11D). Alguns raios são descontínuos na seção transversal (Fig. 1.2M).

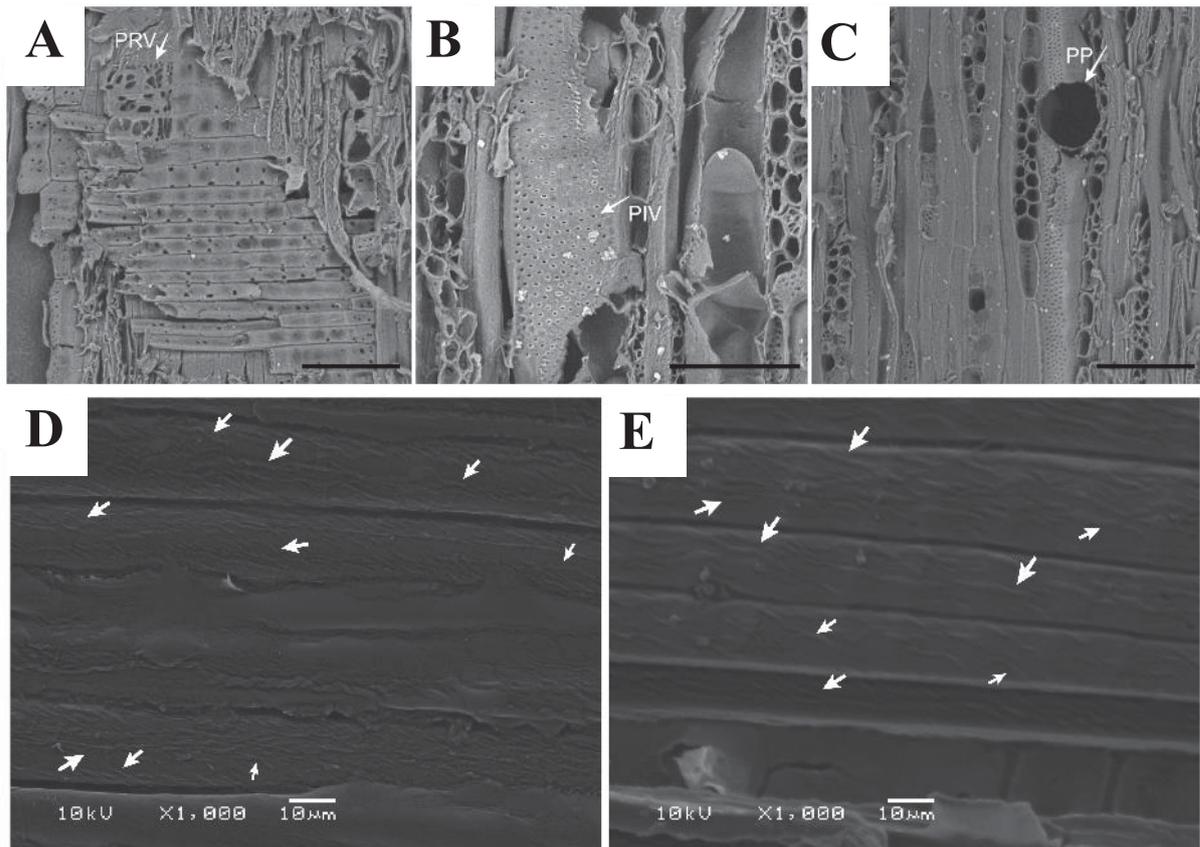
FIGURA 1.11 – IMAGENS MICROSCÓPICAS DA MADEIRA NI



FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Material de macerado (A-B) e seções radial (D) e tangencial (C). Traqueídeo vasicêntrico (A) e elemento de vaso com apêndice (B). Indicado por setas: espessamento espiralado em fibra (C) e células radiais com paredes disjuntas (D). Barra de escala = 100 μm (A e B); 30 μm (C e D).

FIGURA 1.12 - IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DE NI



FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Seção radial (A, D e E) e tangencial (B e C). Indicados por setas: PRV- Pontoação raio-vascular (A); PIV: Pontoação intervascular alterna areolada (B) e PP – Placa de perfuração simples. Espessamento em fibras (D e E). Barra de escala = 100μm (A-C).

1.3.1.1 Comparação das características anatômicas das amostras

Na Tabela 1.5 é possível observar que não há um padrão entre as dimensões anatômicas analisadas.

TABELA 1.5 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS DIMENSÕES ANATÔMICAS DAS MADEIRAS ANALISADAS

(continua)

| Localidade | Amostras | Poros | | Raios | | |
|------------|--------------------------|---------------------------------|---------------|-------------|--------------|-------------------|
| | | Frequência (n/mm ²) | Diâmetro (μm) | Altura (μm) | Largura (μm) | Frequência (n/mm) |
| Arimum | <i>Manilkara</i> sp. I | 9,17 a | 110,44 c | 375,35 a | 24,05 a | 9,57 a |
| | | 3,54 | 19,07 | 174,64 | 7,35 | 1,59 |
| Arimum | <i>Manilkara</i> sp. II | 18,17 b | 63,25 a | 348,43 a | 23,22 a | 9,43 a |
| | | 5,38 | 12,38 | 111,85 | 6,12 | 2,31 |
| Paraíso | <i>Manilkara</i> sp. III | 21 c | 62,28 a | 353,44 a | 23,70 a | 8,93 a |
| | | 4,33 | 11,66 | 138,84 | 6,89 | 1,84 |

TABELA 1.5 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS DIMENSÕES ANATÔMICAS DAS MADEIRAS ANALISADAS

| Localidade | Amostras | Poros | | Raios | | |
|------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------------|
| | | Frequência (n/mm ²) | Diâmetro (µm) | Altura (µm) | Largura (µm) | Frequência (n/mm) |
| Paraíso | <i>Manilkara</i> sp. IV | 21,95 c | 74,25 b | 479,06 b | 25,54 a | 11,73 c |
| | | 7,20 | 11,31 | 208,58 | 8,75 | 1,39 |
| - | <i>Manilkara</i> sp. V | 9,48 a | 111,63 c | 388,67 a | 24,35 a | 10,57 b |
| | | 3,08 | 18,38 | 198,11 | 5,19 | 1,72 |

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não possuem diferenças estatísticas significativas pelo teste F a 95% de confiança.

A relação frequência/diâmetro de poros está dentro do esperado segundo a literatura já que o padrão de comportamento entre estes dois parâmetros é inversamente proporcional: os poros com maiores diâmetros médios apresentam as menores frequências enquanto aqueles com menores diâmetros apresentam os maiores valores de frequência.

Qualitativamente as amostras também possuem muitas semelhanças, como a porosidade e o tipo de parênquima, heterogeneidade dos raios e a presença de fibras com espessamento, contudo, ao observar atentamente, alguns detalhes podem ser notados e auxiliariam como indicativos que as amostras provavelmente pertencem a espécies ou variedades diferentes.

A irregularidade do parênquima é diferente dentro de uma mesma amostra e entre indivíduos, assim como a demarcação de anéis de crescimento por zonas fibrosas em uma visão macroscópica. A proporção de poros múltiplos radiais, solitários (Tabela 1.6) e cachos também difere um pouco de indivíduo para indivíduo.

TABELA 1.6 - QUANTITATIVO DE POROS MÚLTIPLOS E SOLITÁRIOS NOS ESPÉCIMES ANALISADOS

| | Múltiplos | Solitários | Total |
|--------------------------------|----------------|---------------|--------------|
| <i>Manilkara</i> sp. I | 7,67 b | 2,17 a | 9,83 |
| DP | 2,90 | 1,41 | |
| CV (%) | 37,77 | 65,08 | |
| Mín. | 3,00 | 1,00 | |
| Máx. | 13,00 | 6,00 | |
| <i>Manilkara</i> sp. II | 14,55 c | 3,65 b | 18,20 |
| DP | 4,51 | 2,06 | |
| CV (%) | 31,01 | 56,44 | |

TABELA 1.6 - QUANTITATIVO DE POROS MÚLTIPLOS E SOLITÁRIOS NOS ESPÉCIMES ANALISADOS

| | Múltiplos | Solitários | Total |
|---------------------------------|----------------|---------------|--------------|
| Mín. | 5,00 | 1,00 | |
| Máx. | 24,50 | 9,00 | |
| <i>Manilkara sp. III</i> | 17,32 c | 3,33 b | 20,65 |
| DP | 4,10 | 1,83 | |
| CV (%) | 23,67 | 54,77 | |
| Mín. | 8,00 | 1,00 | |
| Máx. | 27,00 | 9,00 | |
| <i>Manilkara sp. IV</i> | 20,83 d | 3,45 b | 24,28 |
| DP | 4,72 | 1,41 | |
| CV (%) | 22,66 | 65,08 | |
| Mín. | 5,00 | 1,00 | |
| Máx. | 29,50 | 6,00 | |
| <i>Manilkara sp. V</i> | 4,68 a | 3,78 b | 8,47 |
| DP | 2,83 | 1,59 | |
| CV (%) | 60,42 | 42,03 | |
| Mín. | 1,00 | 2,00 | |
| Máx. | 10,50 | 8,00 | |

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Médias (em negrito) seguidas por desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV%) de cada caractere. Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não possuem diferenças estatísticas significativas pelo Teste F a 95% de confiança.

Ainda na seção transversal, os indivíduos *Manilkara sp. II* e *Manilkara sp. V* apresentam descontinuidade nos raios, característica que não está presente nos demais indivíduos analisados (Quadro 1).

QUADRO 1 – COMPARATIVO ENTRE OS CARACTERES ANATÔMICOS QUALITATIVOS DAS CINCO *Manilkara* sp. ESTUDADAS

| Caracteres | <i>Manilkara</i> sp. I 1477 | <i>Manilkara</i> sp. II 1064 | <i>Manilkara</i> sp. III 1386 | <i>Manilkara</i> sp. IV 161 | <i>Manilkara</i> sp. V NI |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Porosidade | Difusa | Difusa | Difusa | Difusa | Difusa |
| Poros | Múlt. rad. | Múlt. rad.; cachos | Múlt. rad.; cachos | Múlt. rad.; solitários | Múlt. rad.; solitários |
| Obstrução | Tilos e conteúdo | Tilos e conteúdo | Tilos e conteúdo | Tilos e conteúdo | Tilos e conteúdo |
| Parênquima | Linhas irreg. (1 a 2 céls.) | Linhas irreg. (até 3 céls.) | Linhas irreg. (1 a 2 céls.) | Linhas irreg. (1 até 3 céls.) | Linhas irreg. (1 a 2 céls.) |
| Placa de perfuração | Simplex | Simplex | Simplex | Simplex | Simplex |
| Pontoações intervasculares | Alternas areoladas | Alternas areoladas | Alternas areoladas | Alternas areoladas | Alternas areoladas |
| Apêndices elemento vaso | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim |
| Espessamento | Corpo do E.V. Apêndice do E.V. Fibras | Apêndice do E.V. Fibras | Corpo do E.V. Fibras | Fibras | Fibras |
| Fibras | Não septadas Het.; n.e. | Não septadas Het.; n.e. | Não septadas Het.; n.e. | Não septadas Septadas Het.; n.e. | Não septadas Het.; n.e. |
| Raios | Unisseriados Bisseriados Paredes disjuntas | Unisseriados Bisseriados Paredes disjuntas Descontínuo (X) | Unisseriados Bisseriados Paredes disjuntas | Variável: 2 – 3 células Paredes disjuntas | Unisseriados Bisseriados Paredes disjuntas Descontínuo (X) |
| Traqueídeo vasicêntrico | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim |
| Cristais | Prismáticos Aciculados | Prismáticos Aciculados | Prismáticos Aciculados Fractais | Prismáticos Aciculados Fractais Ráfides | Prismáticos Aciculados |

FONTE: A AUTORA (2020)

LEGENDA: Múlt. rad. = múltiplos radiais; Linhas irreg. = linhas irregulares; Céls. = células; E.V. = Elemento de vaso; Het. = Heterogêneos; n.e. = não estratificados; X = plano transversal.

Em todos os indivíduos foi observada a presença de traqueídeos vasicêntricos sem espessamento, assim como a presença de apêndices nos elementos de vaso. Contudo, para alguns indivíduos foi observado espessamento espiralado nos apêndices dos elementos de vaso (*Manilkara* sp. I e *Manilkara* sp. II) e para os demais não, assim como foi observado espessamento no corpo dos elementos de vaso para *Manilkara* sp. I e *Manilkara* sp. III e ausência desta característica nos demais indivíduos.

Na seção radial, os raios são todos heterogêneos e variam na proporção de células procumbentes, quadradas e eretas dentro de um mesmo indivíduo e de forma um pouco mais marcante entre indivíduos. Já na seção tangencial as diferenças são mais notáveis quanto à composição dos raios, em que alguns indivíduos são exclusivamente unisseriados ou bisseriados enquanto em outros há ocorrência de raios com largura variável. Ainda na seção tangencial é possível notar uma variação nos tamanhos e formas de célula que compõem os raios, resultado da heterogeneidade da forma de suas células.

De acordo com o descrito por Metcalfe e Chalk (1965), as amostras aqui descritas estão de acordo com as características pertencentes à família Sapotaceae, gênero *Manilkara* com prováveis espécies ou variedades distintas.

Segundo dados do *InsideWood*, *M. huberi* e *M. bidentata* (*M. amazonica* é uma de suas sinonímias) não apresentam anéis de crescimento ou estes são indistintos, o que destoa das maçarandubas e maparajubas presentes neste estudo, as quais apresentam distinção por zonas fibrosas. Na mesma plataforma para *M. bidentata* não há menção da presença de fibras septadas, presentes em *Manilkara* sp. IV (maparajuba), assim como de traqueídeos vasicêntricos, presentes em todas as amostras. Ainda para *M. bidentata* é citada a presença de tiloses escleróticas, não observadas nos indivíduos deste estudo. Contudo, como a família e o gênero apresentam muitas similaridades, não é possível confirmar ou descartar espécies a partir de apenas informações do lenho.

1.3.2 Anatomia do carvão

Os caracteres qualitativos da madeira permaneceram no carvão, podendo ainda serem identificados e descritos, como o tipo de agrupamento de vaso, tipo de parênquima, tipo de placa de perfuração, pontoações intervasculares e raio-vasculares e em alguns casos até mesmo a presença de células disjuntivas na parede do raio; comportamento também relatado em outros estudos (NISGOSKI et al., 2012; SOUZA et al., 2015; CARVALHO et al., 2017).

Contudo, é possível observar o colapso de estruturas na forma de rachaduras no sentido dos parênquimas axial e radial. Souza et al (2015) relata este mesmo comportamento para algumas espécies amazônicas, dentre elas *Manilkara* sp., assim como Nisgoski et al. (2012) também relatam este comportamento em seu estudo, justificado pela diferença temporal do aquecimento e decomposição da superfície em relação ao interior do material, o qual é intensamente influenciado pela grã.

As características do carvão são ilustradas na Figura 1.13. Ocorreram algumas mudanças nos caracteres quantitativos como observado na Tabela 1.7. É possível notar que houve um crescimento na frequência dos poros para todas as amostras, exceto para *Manilkara* sp. II, enquanto ocorreu um decréscimo no diâmetro desses elementos para *Manilkara* sp. I e *Manilkara* sp. V, ocorrendo o inverso para as demais amostras. Comumente uma diminuição é esperada devido à uma maior contração na direção tangencial inerente à anisotropia resultante do processo de carbonização (MUÑIZ et al. 2012a,b; GONÇALVES et al. 2012), mas há também relatos de um comportamento inverso (NISGOSKI et al, 2015; REIS et al. 2019). O comportamento da frequência e diâmetro de poros após a carbonização é fortemente dependente da espécie já que a estrutura anatômica é fator determinante, em conjunto com o teor de umidade e a presença de cristais, para o comportamento do material durante o processo de carbonização (GONÇALVES, 2010; LEME et al, 2010; NISGOSKI et al., 2012).

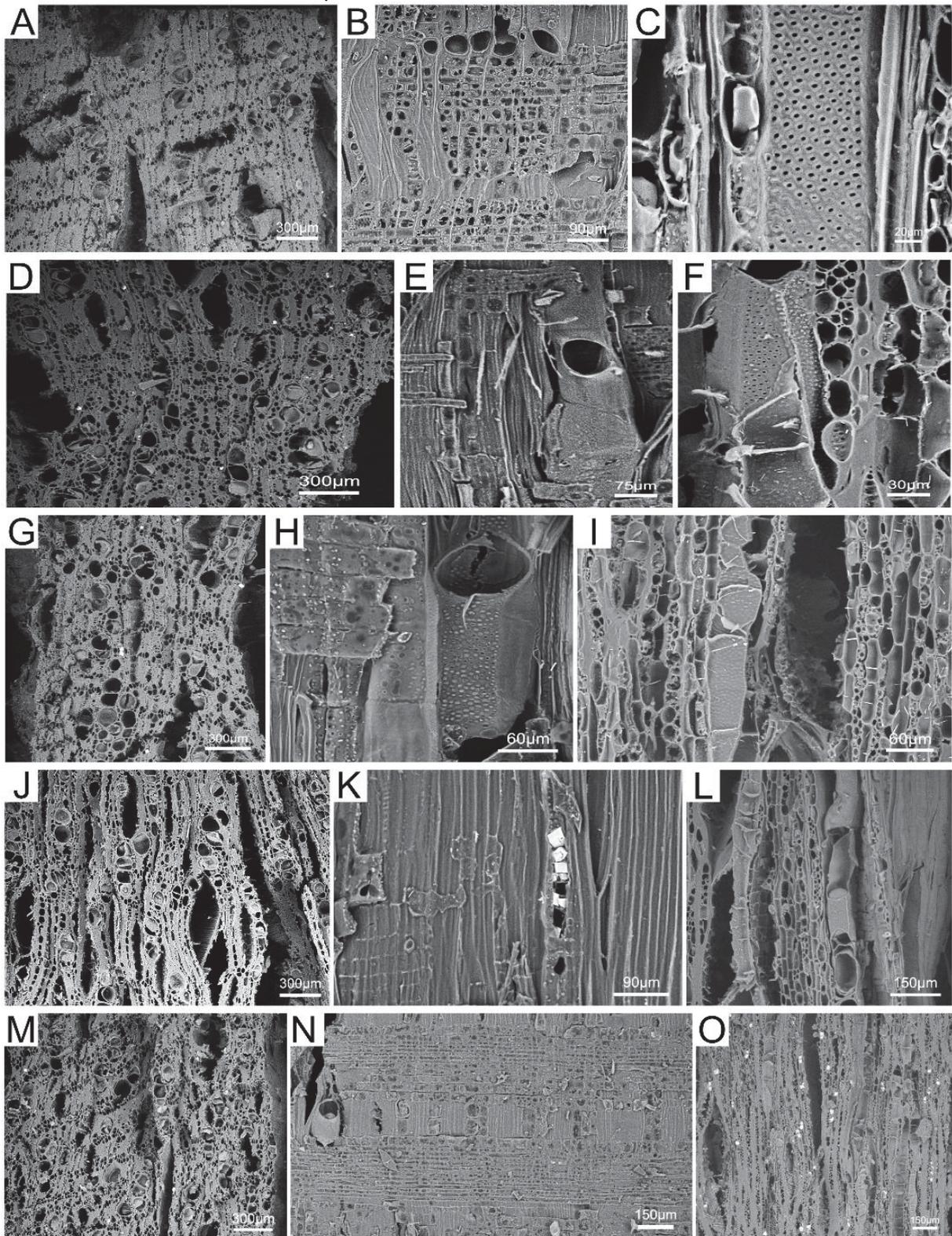
TABELA 1.7 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS DIMENSÕES DO CARVÃO AVALIADO

| Amostra | Frequência (n/mm ²) | Diâmetro (µm) | Altura (µm) | Largura (µm) | Frequência (n/mm) |
|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| Manilkara sp. | | | | | |
| <i>Manilkara</i> sp. I | 13,22 a 4,37 | 107,75 d 25,09 | 285,48 a 112,37 | 44,63 c 13,39 | 9,89 b 1,74 |
| <i>Manilkara</i> sp. II | 14,28 a 3,56 | 94,48 c 20,95 | 258,66 a 114,27 | 34,64 a 14,94 | 9,27 ab 2,47 |
| <i>Manilkara</i> sp. III | 29,29 d 8,27 | 79,62 a 16,23 | 276,71 a 107,03 | 34,54 a 9,04 | 9,18 a 1,92 |
| <i>Manilkara</i> sp. IV | 27,16 c 5,33 | 89,33 b 17,53 | 341,45 b 153,20 | 38,95 b 9,75 | 12,34 c 2,43 |
| <i>Manilkara</i> sp. V | 22,92 b 5,79 | 80,71 ab 15,18 | 283,67 a 103,20 | 36,63 ab 9,70 | 11,94 c 2,35 |

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não possuem diferenças estatísticas significativas. Teste F a 95% de confiança.

FIGURA 1.13 - IMAGENS DE MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA DO CARVÃO DE CINCO *Manilkara* sp.



FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Cada conjunto de três imagens na horizontal corresponde a uma árvore, de cima para baixo: *Manilkara* sp. I (A-C), *Manilkara* sp. II (D-F), *Manilkara* sp. III (G-I), *Manilkara* sp. IV (J-L), *Manilkara* sp. V (M-O). Coluna da esquerda (A-M) corresponde à seção transversal, coluna central (B-N) corresponde à seção radial e coluna da direita (C-O) corresponde à seção tangencial.

1.3.3 Densidade básica

Todos os indivíduos possuem fibras com paredes muito grossas, justificando o valor de densidade básica calculada para esses indivíduos (Tabela 1.8) que não diferiram muito entre si em números absolutos e ficaram próximos a 0,9 g/cm³.

Os valores estão de acordo com o relatado em literatura para *Manilkara* sp., *M. huberi* e *M. amazonica*, que variaram entre 0,81 e 0,94 (SILVEIRA et al., 2013; MOREIRA; MOUTINHO, 2018).

TABELA 1.8 - VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE BÁSICA CALCULADOS POR AMOSTRAS

| Amostra | Densidade básica (g/cm³) |
|---------------------------------|--------------------------------------------|
| 1477 – <i>Manilkara</i> sp. I | 0,90 |
| 1064 – <i>Manilkara</i> sp. II | 0,89 |
| 1386 – <i>Manilkara</i> sp. III | 0,88 |
| 161 – <i>Manilkara</i> sp. IV | 0,89 |
| NI – <i>Manilkara</i> sp. V | 0,87 |

FONTE: A autora (2020).

1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As amostras descritas neste estudo pertencem à família Sapotaceae e ao gênero *Manilkara* de acordo com o verificado na literatura. É possível que os indivíduos analisados pertençam a diferentes espécies e ou variedades já que apresentam grandes semelhanças qualitativas e quantitativas entre si, porém também são observadas algumas variações anatômicas que justificariam a sua separação por espécie ou subespécie/variedade. Este nível de incerteza corrobora a dificuldade de clara distinção entre indivíduos da família Sapotaceae devido às semelhanças significativas e ausência de caracteres diagnósticos marcantes.

Após o processo de carbonização os caracteres qualitativos da madeira foram mantidos. Contudo, foram observadas mudanças quantitativas nas amostras após o processo de carbonização que resultaram em um comportamento não homogêneo dos parâmetros analisados.

Não foram observadas características determinantes para a separação de indivíduos por localidade.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR-11941: madeira: determinação da densidade básica. 2003.

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

ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. *Iawa Journal*, v. 23, n. 4, p. 391-418, 2002.

BAAS, P.; WERKER, E.; FAHN, A. Some ecological trends in vessel characters. **IAWA Bulletin**, v. 4, n. 2-3, p. 141-160, 1983.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Relatório Parametrizado** - Unidade de Conservação: Reserva Extrativista Verde Para Sempre, 2019. Disponível em: <<http://sistemas.mma.gov.br/cnuc/index.php?ido=relatorioparametrizado.exibeRelatorio&relatorioPadrao=true&idUc=260>>.

BRASIL. Decreto não numerado, de 8 de novembro de 2004: dispõe sobre a criação da reserva extrativista Verde Para Sempre, no Município de Porto de Moz, Estado do Pará. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Dnn/Dnn10350.htm>.

CARLQUIST, S. **Ecological strategies of xylem evolution**. Berkeley: University of California Press, 1975. 259p.

CARVALHO, A.F.; BRAND, M.A.; NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G.I.B.; FRIEDERICHS, G.; KUSTER, L.C.; SANTOS, T.S. Anatomia do carvão oriundo de cinco espécies comercializadas no estado de Santa Catarina. **Ciência da Madeira**, v.8, n.3, p.158-167, 2017.

CORADIN, V.T.R.; MUÑIZ, G.I.B. **Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira**: I. Angiospermae, II. Gimnospermae. LPF: Série Técnica, 15, Brasília, 1992. 17p.

COSTA, A. D. C. **Anatomia da madeira em Sapotaceae**. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Botânica. 2007. 200p.

DENARDI, L.; MARCHIORI, J. N. C. Anatomia ecológica da madeira de *Blepharocalyx salicifolius* (HBK) Berg. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 2, p. 119-127, 2005.

DICKISON, W.C. **Integrative Plant Anatomy**. Londres: Academic Press, 2000.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, v. 155, n. 3924, p. 51-51, 1945.

GOMES, J.I.; FERREIRA, G.C.; URBINATI, C. **Anatomia e identificação de madeiras amazônicas**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental; 2002.

GONÇALVES, T. A. P. **Anatomia do lenho e carvão de espécies arbóreas em áreas de cerrado do Estado de São Paulo**. 2010. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

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

IAWA COMMITTEE. List microscope features of hardwood identification. **IAWA Bulletin**, v.10, n. 3, p. 221-259, 1989.

IMAZON/IEEB. Avaliação da pressão humana na Reserva Extrativista Verde para Sempre no oeste do Pará. 2006.

INSIDEWOOD. 2004-onwards. Disponível em: <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search>.

JBRJ – JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. Flora do Brasil 2020. In: REFLORA – Plantas do Brasil: Resgate Histórico e Herbário Virtual Para o Conhecimento e Conservação da Flora do Brasil. Disponível em: <
<http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaUC.do#CondiacaoTaxonCP>>.

KUKACHKA, B. F. **Wood Anatomy of the Neotropical Sapotaceae**: XX. Manilkara. Research Paper FPL 371. Forest Products Laboratory, Forest Service, US Department of Agriculture, 1981.

LEME, C.L.D.; CARTWRIGHT, C.; GASSON, P. Anatomical changes to the wood of *Mimosa ophthalmocentra* and *Mimosa tenuiflora* when charred at different temperatures. **IAWA Journal**, v. 31, n. 3, p. 333-351, 2010.

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

LONGUI, E. L.; YOJO, T.; LOMBARDI, D. R.; ALVES, E. S. The potential of ipê (*Handroanthus* spp.) and maçaranduba (*Manilkara* spp.) woods in the manufacture of bows for string instruments. **Iawa Journal**, v. 31, n. 2, p. 149-160, 2010.

MARCATI, C. R.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V.; BENETATI, L. Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinoideae) de floresta e cerradão. **Brazilian Journal of Botany**, v. 24, n. 3, p. 311-320, 2001.

MARCATI, C. R.; ANGYALOSSY, V.; EVERT, R. F. Seasonal variation in wood formation of *Cedrela fissilis* (Meliaceae). **IAWA journal**, v. 27, n. 2, p. 199-211, 2006.

MARCHIORI, J. N. C. **Elementos de dendrologia**. 2. ed. Santa Maria: Ed. UFSM, 2004. 176p.

MARTINS-DA-SILVA, R. C. V. **Coleta e identificação de espécimes botânicos**. Embrapa Amazônia Oriental-Documentos 143 (INFOTECA-E), 2002.

METCALFE, C.R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons: leaves, stem, and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses**. Oxford Press, v. 2, 1965. 1499p.

METCALFE, C. R. Anatomy, phylogeny and taxonomy. In: **Anatomy of dicotyledons**, METCALFE, C. R.; CHALK, L. Oxford: Clarendon Press, v. 2, 1983. 2.ed.

MOLINA, J. C.; CALIL NETO, C.; CHRISTOFORO, A. L. Resistência à tração de emendas dentadas de madeira de *Manilkara huberi* para o emprego em madeira laminada colada. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 221-227, 2016.

MOREIRA, L. S.; MOUTINHO, V. H. P. Densidade básica e resistência mecânica de madeiras de resíduos florestais da região amazônica. **Revista Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 64-81, 2018.

MUÑIZ, G.I.B.; NISGOSKI, S.; FRANÇA, R.F.; SCHARDOSIN, F.Z. Comparative anatomy of wood and charcoal of *Cedrelinga catenaeformis* Ducke and *Enterolobium schomburgkii* Benth. for identification purposes. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 94, p. 291-297, 2012a.

MUÑIZ, G.I.B.; NISGOSKI, S.; SCHARDOSIN, F.Z.; FRANÇA, R.F. Anatomia do carvão de espécies florestais. **Cerne**, v. 18, n. 3, p. 471-477, 2012b.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G.I.B, FRANÇA, R.F.; BATISTA, F.R.R. Anatomia do lenho carbonizado de *Copaifera* cf. *langsdorfii* Desf. e *Dipteryx odorata* (Aubl.) Wild. **Ciência da Madeira**, v. 3, n. 2, p. 66-79, 2012.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G.I.B.; MORRONE, S.R.; SCHARDOSIN, F.Z. NIR and anatomy of wood and charcoal from Moraceae and Euphorbiaceae species. **Ciência da Madeira**, v. 6, n. 3, p. 183-190, 2015.

NOBRE, J. R. C.; CASTRO, J. P.; BIANCHI, M. L.; BORGES, W. M. S.; TRUGILHO, P. F., MOULIN, J. C.; NAPOLI, A. Caracterização do carvão ativado produzido a partir de serragens de maçaranduba. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 107, p. 693-702, 2015.

ORTIZ, F. Quem é a líder extrativista que está ajudando a mudar o Pará. **O Eco**. 02 de janeiro de 2018. Disponível em: <<https://www.oeco.org.br/reportagens/quem-e-a-lider-extrativista-que-esta-ajudando-a-mudar-o-para/>>.

PROCÓPIO, L. C.; SECCO, R. S. A importância da identificação botânica nos inventários florestais: o exemplo do "tauari" (*Couratari* spp. e *Cariniana* spp. - Lecythidaceae) em duas áreas manejadas no estado do Pará. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 1, p. 31-44, 2008.

REIS, C.A. CISNEROS, A.B.; SILVA, E.L. MUÑIZ, G.I.B.; MORRONE, S.R.; NISGOSKI, S. NIR spectroscopy and wood anatomy to distinguish *Prosopis alba* wood and charcoal from natural and planted forest. **International Wood Products Journal**, v.10, n.4, p.168-177, 2019.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. D. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 2, p. 179 – 184, 2013.

SEREJO, E.S.; CAL, D. Amazônia e o desafio da sustentabilidade: reflexões a partir da construção do marco estratégico do Projeto Jutai na Reserva Extrativista Verde para Sempre. **P2P e INOVAÇÃO**, v. 2, n. 2, p. 94-114, 2016.

SOUZA, M.J.C., SILVA, K.S.; PERDIGÃO, C.R.V.; SILVAN, G.R.; MELO, L.E.L.
Anatomia do lenho carbonizado de espécies madeireiras comercializadas na Amazônia.
Boletim Técnico nº 8 – Fundação Casa da Cultura de Marabá, 2015.

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO BRASIL. Reserva Extrativista Verde para Sempre.
s/d. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/arp/4247>.

VIA AMAZÔNIA. ‘Resex Verde Para Sempre’ – Sobrevivência Ameaçada! Revista Via
Amazônia. 08 de janeiro de 2016. Online. Disponível em:
<<http://revistaviaamazonia.blogspot.com/2016/01/resex-verde-para-sempre-sobrevivencia.html>>.

WATRIN, O.S.; OLIVEIRA, P.M. Levantamento do uso e cobertura da terra em áreas da
Reserva Extrativista Verde para Sempre, Porto de Moz, PA. **Boletim de Pesquisa e
Desenvolvimento.** Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 36p.

CAPÍTULO 2

COLORIMETRIA DA MADEIRA DE 5 *Manilkara* sp.

RESUMO

A colorimetria quantitativa encarrega-se da descrição e compreensão da cor por meio da atribuição de valores e parâmetros, portanto é possível descrever uma cor por meio da sua quantificação. Seguindo esta premissa é possível também analisá-la, agrupando e distinguindo diferentes colorações. Tal possibilidade é de relevância para os estudos com madeira, já que este é um atributo estético de grande valia na aplicação deste material para diversos fins. Portanto, os objetivos específicos deste capítulo são obter os parâmetros colorimétricos e espectros no visível da madeira maciça de cinco *Manilkara* sp., comparar a eficiência desse método na discriminação das espécies analisadas além de avaliar a influência do plano de corte e superfície das amostras e comparar diferentes tratamentos matemáticos e métodos de classificação nos espectros VIS na discriminação das amostras. As amostras analisadas apresentaram diferenças entre parâmetros quando comparadas entre si e dissemelhanças dentro de um mesmo indivíduo. Essas diferenças podem ser observadas também no espectro de reflectância, contudo, ao analisar os dados usando PCA não há uma forte distinção entre as amostras, não sendo observado agrupamento quanto à localidade ou tipo de árvore (maçaranduba e/ou maparajuba). Portanto, para o grupo de Sapotaceae analisado o uso de espectroscopia VIS caracteriza-se mais como uma ferramenta descritiva do que distintiva.

Palavras chave: CIEL*a*b*; Espectroscopia no visível; Discriminação de espécies.

ABSTRACT

Quantitative colorimetry is in charge of describing and understanding the color by assigning values and parameters, thus it is possible to describe a color by quantifying it. Following this premise it is also possible to analyze it by grouping and distinguishing different colors. Such a possibility is of relevance for studies with wood, since this is an aesthetic attribute of great value in the application of this material for various purposes. Therefore, the specific objectives of this chapter are to obtain the colorimetric parameters and spectra in the visible of the solid wood of five *Manilkara* sp., to compare the efficiency of this method in the discrimination of the analyzed species in addition to evaluating the influence of the cutting plane and surface of the samples and to compare different mathematical treatments and methods of classification in the VIS spectra for sample discrimination. The analyzed samples showed differences between parameters when compared to each other and differences within the same individual. These differences can also be observed in the reflectance spectrum, however, when analyzing the data using PCA there is no strong distinction between the samples, with no clustering regarding the location or type of tree (maçaranduba and / or maparajuba). Therefore, for the Sapotaceae group analyzed, the use of VIS spectroscopy is characterized as a descriptive rather than a distinctive tool.

Keywords: CIEL*a*b*; Visible spectroscopy; Species discrimination.

2.1 INTRODUÇÃO

A cor é uma percepção visual a partir de um aspecto físico da natureza e sua interpretação por um indivíduo está correlacionada com sentimentos e sensações, constituindo-se, portanto, como um elemento fundamental da percepção visual e da impressão e avaliação estética de um indivíduo em relação a um determinado objeto de forma subjetiva. Essa percepção acontece quando a radiação eletromagnética incide em uma superfície e tem como resultado sua absorção e reflexão, sendo este último fenômeno responsável pelo que caracterizamos como cor do material. A cor no espectro eletromagnético está inserida na região do visível, entre 400 e 700nm, no qual cada faixa de comprimento de onda corresponde a um domínio de cor como pode ser observado na Figura 2.1 (GONÇALEZ, 1993).

FIGURA 2.1 – COMPRIMENTOS DE ONDA E SUA CORRESPONDÊNCIA POR DOMÍNIO DE COR NO ESPECTRO VISÍVEL

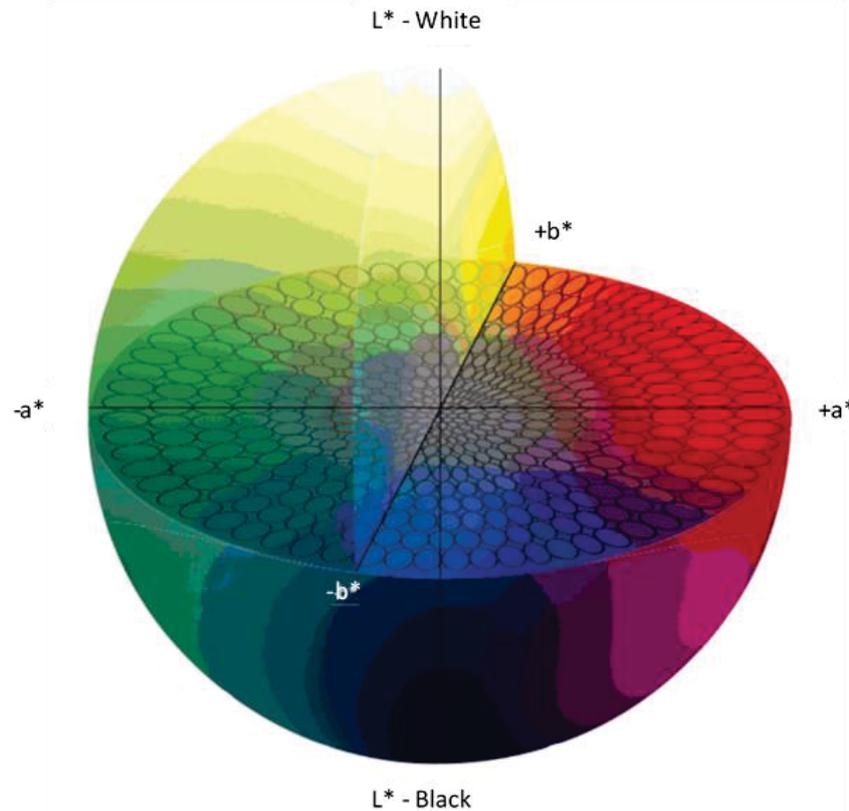
| Cor | Comprimento de onda | Frequência |
|------------|----------------------------|-------------------|
| vermelho | ~ 625-740 nm | ~ 480-405 THz |
| laranja | ~ 590-625 nm | ~ 510-480 THz |
| amarelo | ~ 565-590 nm | ~ 530-510 THz |
| verde | ~ 500-565 nm | ~ 600-530 THz |
| ciano | ~ 485-500 nm | ~ 620-600 THz |
| azul | ~ 440-485 nm | ~ 680-620 THz |
| violeta | ~ 380-440 nm | ~ 790-680 THz |

FONTE: ROCHA (2011).

A colorimetria quantitativa encarrega-se da descrição objetiva e compreensão da cor por meio da atribuição de valores e parâmetros, campo no qual a CIE (*Comission Internationale d'Eclairage*) atua como instituição responsável pela regulamentação, padronização e recomendações metodológicas, traduzindo em números a interação provocada pela luz em uma superfície. Segundo o sistema CIEL*a*b* (Figura 2.2) a cor é descrita pelos seguintes parâmetros: L* (lightness), nível de brilho no eixo branco-preto (z; de zero para preto e 100 para branco); a*, correspondente ao eixo verde-vermelho (x) e b*, correspondente

ao eixo azul-amarelo (y), os três variando de zero a sessenta, a partir dos quais é possível calcular a saturação (C) e o ângulo de tinta (h^* de *hue*) (CAMARGOS, 1999; CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001; JANIN et al., 2001; SCHANDA, 2007).

FIGURA 2.2 – REPRESENTAÇÃO DO ESPAÇO CIE L*A*B



FONTE: X-RITE (2015).

A cor é um elemento visual da madeira que possui grande relevância estética especialmente para movelaria e pisos. Está correlacionada com elementos anatômicos (que sofre variação entre os planos anatômicos) e a constituição química da madeira, além de genética, idade, exposição às intempéries e agentes biodegradadores, temperatura, umidade, além de tratamentos artificiais, como pintura, selantes e impermeabilizantes e aos processos de secagem e termorreificação. A coloração de uma madeira também vai sofrer variação dentro de uma mesma árvore e até mesmo dentro da porção do cerne. Devido às essas distintas interações, existem madeiras de tons desde o amarelo palha, rosa, roxo, até marrom escuro. Este elemento não é imutável, o processo de envelhecimento é uma fator que influenciará nesta característica devido a oxidação dos elementos constituintes da madeira, especialmente devido à exposição à luz, tornando-a mais clara ou escura (NISHINO et al.,

1998; CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001; MORI et al., 2004; MOYA et al., 2012; CADERMATORI et al., 2013; BARROS et al., 2014; MATTOS et al., 2013).

A cor da madeira portanto, pode ser utilizada como pré-requisito para a triagem de madeiras serradas e laminadas, sendo elemento fundamental para a elaboração de planos nesta etapa de seu processamento para posteriormente ser parâmetro para a qualidade de produtos de madeira sólida (STANGERLIN et al., 2013). A avaliação desta característica além de qualificar produtos e classificar madeiras com propriedades físicas e mecânicas semelhantes, também é utilizada na avaliação de processos de biodeterioração da madeira, tratamentos com preservantes, secagem e termorretrificação (MOYA; MARÍN, 2011; CADEMARTORI et al., 2013; MATTOS et al., 2013; STANGERLIN et al., 2013).

A cor de um produto é um aspecto qualitativo de suma importância em vários segmentos, sendo, portanto, fundamental seu monitoramento e controle. Anteriormente esta ação era comumente realizada nas indústrias por meio de colorímetros, equipamentos que vem sendo substituídos por espectrofotômetros. Estes instrumentos se baseiam no cálculo da luz refletida em comprimentos de onda a partir da incidência de uma luz branca por ele produzido na superfície analisada. A espectroscopia no visível é uma técnica não destrutiva com baixo tempo e fácil aquisição das informações colorimétricas das amostras com fácil interpretação dos resultados a partir das orientações do CIE. Esses resultados podem ser utilizados para a caracterização e classificação do material analisado, apresentando-se como uma ferramenta no controle de qualidade de muitas indústrias, especialmente as que precisam atender exigências no padrão de qualidade do mercado internacional.

Portanto, os objetivos específicos deste capítulo são:

Obter os parâmetros colorimétricos e os espectros no visível da madeira maciça de cinco *Manilkara* sp.;

Comparar a eficiência da espectroscopia VIS na discriminação da madeira das amostras analisadas além de avaliar a influência do plano de corte e superfície das amostras;

Comparar diferentes tratamentos matemáticos e métodos de classificação nos espectros VIS na discriminação da madeira das amostras analisadas.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras para o estudo estão descritas no Capítulo 1, item 1.2, página 24 desta dissertação.

A determinação da cor das amostras de madeira foi realizada por meio do sistema CIEL*a*b (1976) utilizando o espectrofotômetro Konica Minolta CM-5 e o software Spectra Magic NX. O iluminante utilizado foi o D65 com uma lâmpada de xenônio difusa que simula a radiação solar diurna com um ângulo de observação de 10 graus. Também foi obtido espectro de reflectância na faixa de 360 a 740nm. Os corpos de prova previamente lixados foram analisados nas seções transversal, tangencial e radial com três medições em cada uma, totalizando nove medições por corpo de prova. Foram obtidos os valores dos parâmetros colorimétricos: coordenada do eixo verde-vermelho (a^*), coordenada do eixo azul-amarelo (b^*) e luminosidade (L^*) os quais permitiram o cálculo de saturação (C) e o ângulo de tinta (h^*) conforme as Equações 1 e 2 a seguir.

$$C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (1)$$

$$h^* = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (2)$$

Onde:

C – saturação;
 a^* - coordenada do eixo verde-vermelho;
 b^* - coordenada do eixo azul-amarelo
 h^* - ângulo de tinta
 arctg – arco tangente

Foi consultado o trabalho de Camargos e Gonzalez (2001) para a classificação de cor das amostras a partir dos parâmetros colorimétricos supracitados.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros colorimétricos médios das amostras estão na Tabela 2.1. *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. IV são estatisticamente semelhantes entre si e diferem estatisticamente das demais amostras em todos os parâmetros. O mesmo comportamento não foi observado para *Manilkara* sp. I e *Manilkara* sp. II as quais não apresentam diferença estatística entre si apenas para o ângulo de tinta (h^*), apresentando diferença entre si nos demais parâmetros resultantes, por vezes sendo semelhantes à *Manilkara* sp. V.

TABELA 2.1 - MÉDIAS SEGUIDAS DO DESVIO-PADRÃO DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS ANALISADOS

| | L* | a* | b* | C | h* |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
| <i>Manilkara</i> sp. I | 39,41d | 14,29b | 14,98b | 20,73b | 45,93c |
| 1477 | 4,91 | 1,78 | 3,04 | 3,34 | 3,28 |
| <i>Manilkara</i> sp. II | 37,10c | 15,63c | 16,25c | 22,58c | 45,64c |
| 1064 | 3,56 | 2,22 | 3,56 | 4,04 | 3,11 |
| <i>Manilkara</i> sp. III | 30,69a | 12,22a | 9,92a | 15,80a | 37,34a |
| 1386 | 4,34 | 3,31 | 4,29 | 5,57 | 5,68 |
| <i>Manilkara</i> sp. IV | 31,51a | 12,29a | 9,80a | 15,78a | 36,48a |
| 161 | 4,52 | 3,70 | 4,41 | 5,57 | 6,39 |
| <i>Manilkara</i> sp. V | 35,01b | 16,54c | 13,98b | 21,71bc | 39,51b |
| NI | 4,15 | 2,44 | 3,68 | 4,13 | 4,28 |

FONTE: A autora (2020)

LEGENDA: Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não possuem diferenças estatísticas significativas pelo Teste F a 95% de confiança

Para L^* o maior valor foi da amostra *Manilkara* sp. I, enquanto o menor foi de *Manilkara* sp. III, todas apresentando valores abaixo do considerado como de alta luminosidade ($L^* > 56$), sendo, portanto, madeiras mais escuras (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001; SILVA et al., 2017). Os valores das coordenadas correspondentes ao eixo a^* na tabela anterior apresentam uma tendência a tons mais fechados, mais saturados, já que se apresentam afastados do vermelho mais vibrante (valores máximos da coordenada), no qual o maior valor é de *Manilkara* sp. II e os menores de *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. IV, em consonância com os valores da coordenada L^* . Enquanto para a coordenada do eixo b^* , o maior valor corresponde a *Manilkara* sp. II, seguido por *Manilkara* sp. I e *Manilkara* sp. V, sendo estes os que apresentam, portanto, maior quantitativo de pigmento amarelo, enquanto *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. IV são os mais baixos.

Como os valores de saturação (C) e ângulo de tinta (h^*) são calculados a partir dos valores de a^* e b^* é esperada uma tendência entre o comportamento dessas coordenadas, em

que, na madeira, existe uma forte correlação entre os dois primeiros parâmetros e os pigmentos vermelho e amarelo. Os maiores valores de C são de *Manilkara* sp. II e *Manilkara* sp. V, enquanto os menores são correspondentes a *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. IV, correspondendo ao comportamento esperado. Já para o ângulo de tinta, os maiores valores são de *Manilkara* sp. I e *Manilkara* sp. II e os menores são representados por *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. IV, apresentando, portanto, diferença nas tonalidades das amostras (SILVA et al, 2015; VIEIRA et al., 2019).

Os resultados obtidos diferem de forma geral do relatado por Zaque et al. (2019) para *Manilkara* sp., classificada como marrom escuro, comercializada no estado de Mato Grosso (L= 41,68; a*= 12,97; b* = 14,78; C = 19,68; h= 48,87), dos valores relatados por Ribeiro (2017) para *Manilkara huberi* (L= 47,45; a*= 14,69; b* = 19,85; C = 24,72; h= 53,50), classificada como marrom avermelhado, e de Silva et al. (2007) também para *M. huberi* (L*=35,74 a*=8,64 e b*=7,27), com classificação marrom-avermelhado-escuro demonstrando que pode existir diferentes valores e classificações para indivíduos de um mesmo gênero e também de mesma espécie.

Os resultados presentes na Tabela 2.2 demonstram que ocorreram diferenças significativas entre os planos de corte da madeira em uma mesma árvore para os parâmetros colorimétricos analisados.

Para *Manilkara* sp. II, *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. IV não há nenhum parâmetro semelhante entre os planos dentro de uma mesma árvore, enquanto *Manilkara* sp. I apresenta semelhança para ângulo de tinta (h*) entre os planos radial e tangencial e *Manilkara* sp. V possui semelhança em todos os parâmetros entre os planos radial e tangencial exceto para a coordenada do eixo azul-amarelo (b*).

Mesmo com diferenças dentro de uma mesma árvore, todas as amostras foram classificadas segundo Camargos e Gonzalez (2001) como marrom escuro.

TABELA 2.2 - VALORES DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS OBTIDOS

(continua)

| | | L* | a* | b* | C | h* |
|--------------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | X | 34,06 a | 12,74 a | 11,60 a | 17,24 a | 42,12 a |
| | Desvio padrão | 2,93 | 1,36 | 1,89 | 2,21 | 2,39 |
| | Coef. Variação (%) | 8,62 | 10,65 | 16,30 | 12,84 | 5,67 |
| | Min. | 29,47 | 9,76 | 8,38 | 13,03 | 36,30 |
| | Máx. | 43,36 | 15 | 15,24 | 21,34 | 48,74 |
| Manilkara sp. I | R | 43,81 b | 16,06 b | 17,90 b | 24,05 b | 48,07 b |
| | Desvio padrão | 2,55 | 0,91 | 1,16 | 1,37 | 1,33 |
| 1477 | Coef. Variação (%) | 5,82 | 5,66 | 6,50 | 5,69 | 2,77 |
| | Min. | 38,67 | 14,15 | 14,76 | 20,98 | 44,71 |
| | Máx. | 47,84 | 17,78 | 19,86 | 26,66 | 51,09 |
| | T | 40,37 c | 14,06 c | 15,43 c | 20,88 c | 47,59 b |
| | Desvio padrão | 2,92 | 1,13 | 1,59 | 1,85 | 1,74 |
| | Coef. Variação (%) | 7,23 | 8,01 | 10,31 | 8,84 | 3,66 |
| | Min. | 34,15 | 12,11 | 12,03 | 17,13 | 43,39 |
| | Máx. | 47,75 | 16,31 | 19,65 | 25,54 | 51,04 |
| | X | 33,19 a | 13,30 a | 12,17 a | 18,04 a | 42,22 a |
| | Desvio padrão | 2,58 | 2,03 | 2,42 | 3,07 | 2,43 |
| | Coef. Variação (%) | 7,76 | 15,28 | 19,86 | 17,01 | 5,76 |
| | Min. | 29,14 | 8,93 | 7,34 | 11,56 | 37,26 |
| | Máx. | 37,75 | 16,55 | 16,44 | 23,33 | 46,68 |
| Manilkara sp. II | R | 40,31 b | 17,54 b | 19,57 b | 26,29 b | 48,06 b |
| | Desvio padrão | 1,58 | 0,77 | 1,50 | 1,54 | 1,52 |
| 1064 | Coef. Variação (%) | 3,91 | 4,39 | 7,69 | 5,87 | 3,17 |
| | Min. | 37 | 15,74 | 16,27 | 22,64 | 44,23 |
| | Máx. | 42,84 | 19 | 22,07 | 28,83 | 50,17 |
| | T | 37,80 c | 16,05 c | 17,02 c | 23,40 c | 46,66 c |
| | Desvio padrão | 1,64 | 0,92 | 1,27 | 1,45 | 1,46 |
| | Coef. Variação (%) | 4,35 | 5,71 | 7,44 | 6,20 | 3,14 |
| | Min. | 34,33 | 14,24 | 13,62 | 19,70 | 43,22 |
| | Máx. | 41,07 | 17,58 | 18,88 | 25,19 | 49,72 |
| | X | 26,04 a | 8,51 a | 5,39 a | 10,10 a | 31,49 a |
| | Desvio padrão | 1,63 | 1,65 | 1,77 | 2,30 | 4,65 |
| | Coef. Variação (%) | 6,25 | 19,44 | 32,78 | 22,78 | 14,76 |
| | Min. | 23,47 | 3,98 | 1,35 | 4,20 | 18,74 |
| | Máx. | 30 | 12,22 | 10,2 | 15,92 | 39,85 |
| Manilkara sp. III | R | 34,78 b | 15,00 b | 13,76 b | 20,38 b | 42,14 b |
| | Desvio padrão | 2,89 | 1,78 | 2,84 | 3,18 | 3,00 |
| 1386 | Coef. Variação (%) | 8,32 | 11,89 | 20,67 | 15,61 | 7,11 |
| | Min. | 29,87 | 12,04 | 9,01 | 15,05 | 36,76 |
| | Máx. | 40,25 | 17,55 | 18,83 | 25,52 | 49,08 |
| | T | 31,26 c | 13,14 c | 10,61 c | 16,91 c | 38,40 c |

TABELA 2.2 - VALORES DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS OBTIDOS

(continuação)

| | | L | a* | b* | C | h* |
|-------------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Desvio padrão | 2,63 | 2,14 | 2,88 | 3,47 | 2,86 |
| | Coef. Variação (%) | 8,41 | 16,27 | 27,16 | 20,51 | 7,46 |
| | Min. | 28,07 | 10,38 | 7,27 | 12,82 | 34,25 |
| | Máx. | 38,21 | 18,12 | 18,51 | 25,90 | 46,30 |
| | X | 26,35 a | 7,81 a | 4,72 a | 9,16 a | 29,61 a |
| | Desvio padrão | 1,87 | 2,27 | 2,18 | 3,04 | 5,40 |
| | Coef. Variação (%) | 7,10 | 29,03 | 46,13 | 33,20 | 18,24 |
| | Min. | 23,87 | 3,64 | 1,21 | 3,84 | 18,39 |
| | Máx. | 30,45 | 12,8 | 9,59 | 15,99 | 38,73 |
| <i>Manilkara sp. IV</i> | R | 35,71 b | 15,38 b | 13,68 b | 20,61 b | 41,36 b |
| | Desvio padrão | 2,68 | 1,47 | 2,44 | 2,63 | 3,05 |
| 161 | Coef. Variação (%) | 7,50% | 9,56% | 17,87% | 12,77% | 7,38% |
| | Min. | 30,94 | 12,48 | 8,81 | 15,47 | 34,71 |
| | Máx. | 40,74 | 17,52 | 18,36 | 24,93 | 47,44 |
| | T | 32,47 c | 13,68 c | 11,01c | 17,58 c | 38,46 c |
| | Desvio padrão | 2,30 | 1,47 | 2,26 | 2,53 | 3,02 |
| | Coef. Variação (%) | 7,08 | 10,75 | 20,53 | 14,36 | 7,85 |
| | Min. | 29,51 | 11,22 | 7,55 | 13,52 | 33,43 |
| | Máx. | 38,91 | 16,03 | 16,59 | 22,99 | 46,20 |
| | X | 29,84 a | 13,61 a | 5,39 a | 16,59 a | 34,67 a |
| | Desvio padrão | 0,90 | 1,26 | 1,77 | 1,79 | 2,31 |
| | Coef. Variação (%) | 3,00 | 9,28 | 32,78 | 10,78 | 6,65 |
| | Min. | 27,8 | 12,03 | 1,35 | 14,03 | 30,02 |
| | Máx. | 30,85 | 16,39 | 10,2 | 20,03 | 38,56 |
| | R | 38,09 b | 17,87 b | 13,76 b | 24,35 b | 42,51 b |
| <i>Manilkara sp. V</i> | Desvio padrão | 2,58 | 1,00 | 2,84 | 2,11 | 3,07 |
| | Coef. Variação (%) | 6,76 | 5,57 | 20,67 | 8,65 | 7,23 |
| NI | Min. | 33,93 | 16,06 | 9,01 | 21,13 | 37,16 |
| | Máx. | 42,34 | 19,63 | 18,83 | 27,73 | 47,62 |
| | T | 37,12 b | 18,15 b | 10,61 c | 24,19 b | 41,34 b |
| | Desvio padrão | 1,74 | 1,50 | 2,88 | 1,97 | 2,11 |
| | Coef. Variação (%) | 4,68 | 8,28 | 27,16 | 8,12 | 5,11 |
| | Min. | 34,75 | 16,18 | 7,27 | 20,88 | 38,33 |
| | Máx. | 40,41 | 20,91 | 18,51 | 27,36 | 46,03 |

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Seções da madeira: X (transversal), R (radial) e T (tangencial). Min.: valor mínimo obtido de determinado parâmetro; Máx.: valor máximo obtido de determinado parâmetro. Coordenada do eixo verde-vermelho (a*), coordenada do eixo azul-amarelo (b*) e luminosidade (L*), saturação (C) e o ângulo de tinta (h*). Valores seguidos de mesma letra não possuem significativa diferença estatística dentro da mesma coluna e mesma árvore pelo Teste F a 95% de confiança

Em relação aos planos anatômicos é possível observar que para o parâmetro L^* para todos os indivíduos, os valores nos planos radial e tangencial são superiores ao plano transversal, relação relatada na literatura (VANCLAY et al., 2008; CADEMARTORI et al., 2013; VIEIRA et al., 2019), porém as seções laterais de todos os indivíduos, exceto para *Manilkara* sp. V, são estatisticamente diferentes entre si. Esse mesmo comportamento ocorre para o parâmetro a^* , sendo relatado menores valores no plano transversal em relação aos demais para algumas espécies de Myrtaceae por Vieira et al. (2019). Esses valores para a seção transversal podem estar correlacionados com a luminosidade do conteúdo presente na parede celular das fibras (que são espessas) e diminuem a luminosidade da seção transversal, assim como a presença de anéis de crescimento que aumenta o nível de cinza, reduzindo também a luminosidade e das matizes correlatas a^* e b^* , contribuindo para uma madeira escura. Ademais, a anisotropia inerente à madeira também age no comportamento irregular da reflectância da luminosidade nas diferentes seções (NISHINO et al., 2000; GONÇALEZ et al., 2001). Madeiras com menor brilho tem uma aparência fosca muitas vezes não desejável no produto acabado, necessitando de mais lixamento com lixas de diferentes gramaturas e produtos de acabamento para proporcionar um aspecto lustroso.

Os valores dos parâmetros b^* e C para todos os indivíduos são menores para o plano transversal, o que já era esperado, contudo, os planos radial e tangencial não estão em concordância com o esperado pela literatura já que não são estatisticamente semelhantes (AUTRAN; GONÇALEZ, 2006; VIEIRA et al., 2019).

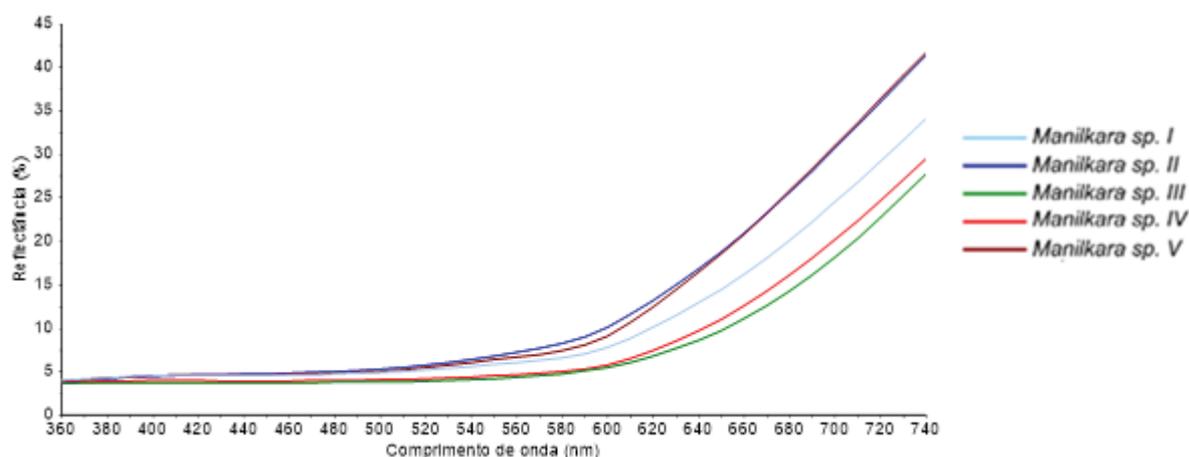
Para o parâmetro h^* , para todos os indivíduos, os menores valores também são referentes ao plano transversal, contudo, não há um padrão quanto à similaridade entre os planos radial e tangencial, sendo semelhantes para *Manilkara* sp. I e *Manilkara* sp. V e não semelhantes para *Manilkara* sp. II, III e IV. Os diferentes arranjos dos caracteres anatômicos podem explicar as diferenças de coloração apresentadas entre os planos radial e tangencial, como a presença de desenho e o tipo de grã, além do arranjo dos raios e variações de parênquima axial, podendo ocorrer variações dentro de uma mesma espécie (NISHINO et al., 2000; OLTEAN et al., 2008). Portanto, como as madeiras estudadas possuem irregularidades nos caracteres anteriormente citados é provável que a diferença de cor detectada neste estudo seja derivada desta heterogeneidade.

Avaliando-se a curva de reflectância no espectro visível (Figura 2.3), nota-se uma aproximação da *Manilkara* sp. II e *Manilkara* sp. V e entre *Manilkara* sp. IV e *Manilkara* sp. III. A amostra *Manilkara* sp. I possui aproximação de *Manilkara* sp. II e *Manilkara* sp. V até

determinado ponto do espectro (entre 360nm e aproximadamente 560nm), a partir do qual afasta-se das demais curvas.

Este comportamento reflete o observado na Tabela 2.2, onde *Manilkara* sp. I e *Manilkara* sp. V se assemelham no eixo azul-amarelo e na saturação; *Manilkara* sp. I e *Manilkara* sp. II possuem semelhança no ângulo de tinta; e *Manilkara* sp. V e *Manilkara* sp. II possuem semelhanças nos valores do eixo vermelho-verde e saturação, sendo este último parâmetro o ponto em comum entre *Manilkara* sp. V, *Manilkara* sp. II e *Manilkara* sp. I. Já as árvores *Manilkara* sp. IV e *Manilkara* sp. III são semelhantes entre si e diferente das demais árvores, justificando seu afastamento das demais curvas.

FIGURA 2.3 – ESPECTROS MÉDIOS NO VISÍVEL COM OS DADOS ORIGINAIS DE 5 *Manilkara* sp.

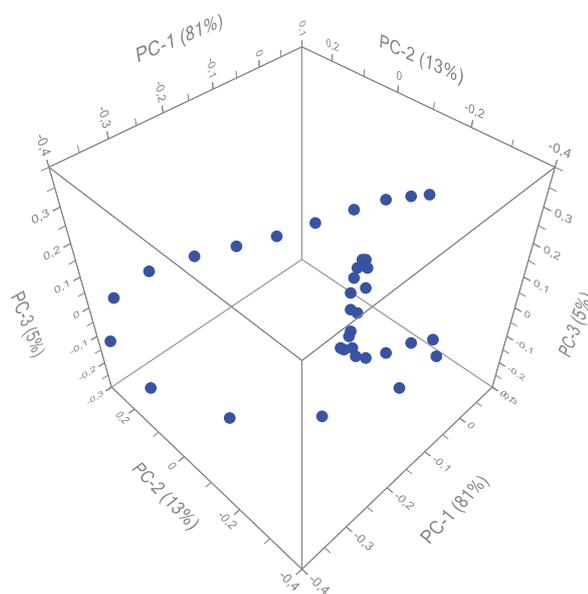


FONTE: A autora (2020).

Os espectros obtidos apresentam uma maior porção com reflectância abaixo de 20%, indicando coloração mais escura, e que em apenas *Manilkara* sp. II e V são observados valores de reflectância acima de 35%. Há maior expressividade dos espectros entre aproximadamente 600 e 740nm, comprimentos de onda dentro dos domínios das cores amarelo, laranja e vermelho. Observa-se ainda que todos os indivíduos possuem baixa reflectância no comprimento de onda referente ao amarelo e inflexão positiva no domínio vermelho, comportamento característico para cor marrom.

Na Figura 2.4 a seguir é possível observar o gráfico de *loadings* resultante da PCA ao analisar o espectro visível médio após tratamento com primeira derivada de Savitzky-Golay e cinco pontos de *smoothing*.

FIGURA 2.4 – GRÁFICO DE *LOADINGS* DO PCA COM O ESPECTRO VISÍVEL MÉDIO DAS AMOSTRAS



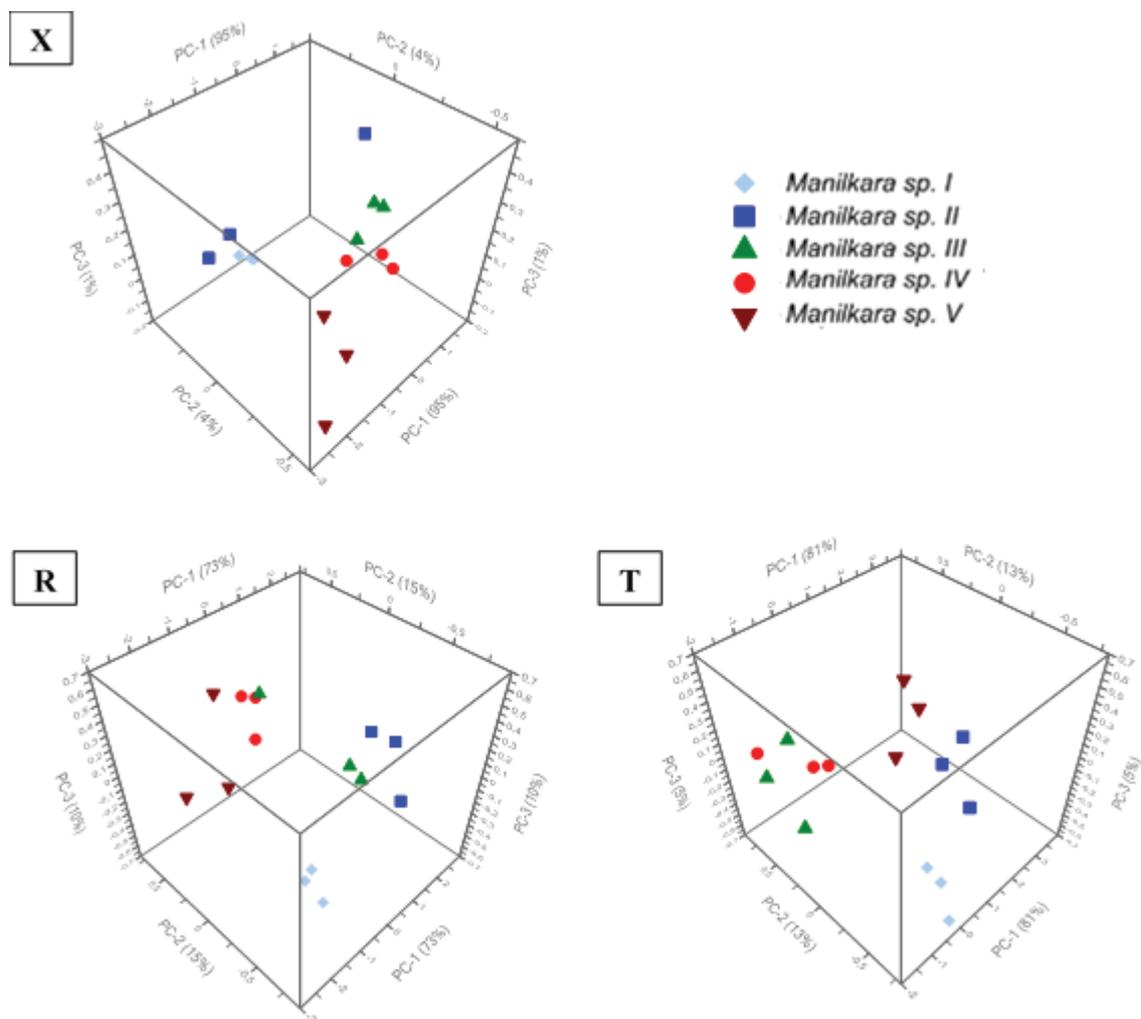
FONTE: A autora (2020).

Ao analisar os planos de corte separadamente (Figura 2.5), utilizando-se de dados de primeira derivada de Savitzky-Golay com cinco pontos de smoothing, é possível observar a dispersão das amostras, muitas vezes não agrupando inclusive os dados de uma mesma árvore. O plano transversal apresentou um maior percentual para a primeira componente (95%), seguido pelo plano tangencial (81%) e plano radial (73%). O plano radial foi o que apresentou resultados menos satisfatórios, com maior dispersão de amostras de mesmo indivíduo e sobreposição de amostras de indivíduos distintos. Os planos transversal e tangencial apresentaram os melhores resultados, sendo este último o que apresentou um melhor agrupamento e aproximação de amostras de um mesmo indivíduo.

Vieira et al. (2019) ao estudar os dados originais de quatro espécies de Myrtaceae de gêneros distintos obtiveram o resultado de clara separação de apenas um dos gêneros, enquanto os outros três apresentaram sobreposição das amostras na PCA, repetindo-se esta tendência quando analisados de forma separados os planos transversal e a combinação dos planos tangencial e radial. Ao estudar mogno e o grupo filipino de mognos (nove espécies e quatro gêneros distintos), Gibe et al. (2019) obtiveram agrupamentos com gêneros distintos, porém sem sobreposição entre gêneros, e também separação entre indivíduos de espécies diferentes mas pertencentes ao mesmo gênero, utilizando os dados médios das amostras. No estudo de Silva et al. (2017) além da colorimetria, a distinção entre indivíduos também está correlacionada com a massa específica das espécies. Nas seções transversal e tangencial é

possível observar a tendência de agrupamento de *Manilkara* sp. III e IV, as quais não apresentaram diferenças significativas nas médias de seus parâmetros colorimétricos (Tabela 2.1), indicando, portanto, que são provavelmente mais influenciados por essas seções em detrimento da seção radial, a qual apresenta um afastamento de parte dessas amostras mas sobreposição de uma amostra de *Manilkara* sp. III com uma amostra de *Manilkara* sp. IV, apresentando ainda alguma influência na semelhança supracitada.

FIGURA 2.5 – GRÁFICO DE SCORES DO PCA COM O ESPECTRO VISÍVEL MÉDIO POR PLANO DE CORTE



FONTE: A autora (2020).

Portanto, não há um padrão de distinção na literatura para a colorimetria entre gêneros e indivíduos de diferentes espécies pertencentes a um mesmo gênero, já que o comportamento da madeira é atrelado a uma série de variáveis.

A homogeneidade é um fator importante na avaliação estética de peças de madeira, sejam elas para fins estruturais, produção de mobílias e artigos de decoração. Portanto, a classificação de lotes, por exemplo, baseando-se em aspectos cromáticos resultará em lotes homogêneos que terão impacto direto na qualidade do insumo fornecido por uma indústria e a sua apreciação do produto pelo consumidor final (AUTRAN; GONÇALEZ, 2006). Portanto, as diferenças estatísticas presentes neste estudo referentes aos parâmetros colorimétricos podem ser positivas para a diferenciação entre indivíduos e entre as seções anatômicas (especificamente entre a seção transversal e as seções radial e tangencial), provavelmente sendo designados para diferentes lotes em um processo industrial onde a classificação é baseada na colorimetria por meio de espectrofotômetro com grupos com valores dos parâmetros colorimétricos bem definidos. Ademais, a preferência por determinada tonalidade irá influenciar também no sentido do desdobro da tora.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo ocorrendo diferenças de parâmetros entre amostras e entre os planos de uma mesma amostra, sendo possível portanto observar alguma separação no espectro de reflectância, não há uma clara distinção entre as árvores utilizando a análise das coordenadas colorimétricas em PCA ou agrupamento, não havendo, portanto, influência do plano de corte ou localidade de procedência.

Todas as amostras foram classificadas como marrom-escuro.

A espectroscopia no visível portanto, para o grupo de *Manilkara* sp. analisado, funciona mais como uma ferramenta para descrição do que para distinção.

REFERÊNCIAS

- AUTRAN, C.S.; GONÇALEZ, J.C. Caracterização colorimétrica das madeiras de muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.) e de seringueira (*Hevea brasiliensis*), clone TJIR 16 Müll Arg. visando à utilização em interiores. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 4, 2006.
- BARROS, S.V.S.; MUÑIZ, G.I.B.; DE MATOS, J.L.M. Caracterização colorimétrica das madeiras de três espécies florestais da Amazônia. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 337-342, 2014
- CADEMARTORI, P.M.G.; CADEMARTORI, P. H. G.; SCHNEID, E.; GATTO, D.A.; STANGERLIN, D.M.; BELTRAME, R. Thermal modification of *Eucalyptus grandis* wood: variation of colorimetric parameters. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 15, n. 1, p. 57-64, 2013.
- CAMARGOS, J.A.A. **Colorimetria quantitativa aplicada na elaboração de uma tabela de cores para madeiras tropicais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 1999.
- CAMARGOS, J.A.A.; GONÇALEZ, J.C.A. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, v. 71, p.30-41, 2001.
- GIBE, M.; KALAW, J.M.; ABASOLO, W. P.; SEVILA III, F. Chemometric differentiation of Dipterocarpaceae wood species based on colorimetric measurements. **Philippine Journal of Science**, v.148, n.3, p. 473-480, 2019.
- GONÇALEZ, J. C. **Caracterisation Technologique de quatre espèces peu connues de la forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques**. Tese (Doutorado). ENGREF, 1993.
- JANIN, G.; GONZALES, J.; ANANIAS, R.; CHARRIER, B.; SILVA, G.F.; DILEM, A. Aesthetics appreciation of wood colour and patterns by colorimetry. Part 1. Colorimetry theory for the CIELab system, 2001.
- MATTOS, B. D.; CADEMARTORI, P.H.G.; LOURENÇON, T.; GATTO, D.A. Colour changes of Brazilian eucalypts wood by natural weathering. **International Wood Products Journal**, v. 5, n. 1, p. 33-38, 2013.
- MORI, C. L. S. D. O.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; OLIVEIRA, A. C. Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 123-132, 2004.

MOYA, R.; MARÍN, J. D. Grouping of *Tectona grandis* (L.f.) clones using wood color and stiffness. **New Forests**, v. 42, n. 3, p. 329-345, 2011.

MOYA, R. FALLAS, R.S.; BONILLA, P.J.; TENORIO, C. Relationship between wood color parameters measured by the CIELab system and extractive and phenol content in *Acacia mangium* and *Vochysia guatemalensis* from fast-growth plantations. **Molecules**, v. 17, n. 4, p. 3639-3652, 2012.

NISHINO, Y.; JANIN, G.; CHANSON, B.; DÉTIENNE, P.; GRIL, J.; THIBAUT, B. Colorimetry of wood specimens from French Guiana. **Journal of Wood Science**, v. 44, n. 1, p. 3-8, 1998.

NISHINO, Y.; JANIN, G.; YAINADA, Y.; KITANO, D. Relations between the colorimetric values and densities of sapwood. **Journal of Wood Science**, v.46, n.4, p.267-272, 2000.

OLTEAN, L.; TEISCHINGER, A.; HANSMANN, C. Wood surface discolouration due to simulated indoor sunlight exposure. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 66, n. 1, p. 51-56, fev. 2008.

RIBEIRO, E. S. **Propriedades tecnológicas de vinte espécies de madeiras tropicais comercializadas pelo estado de Mato Grosso**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Univesidade de Brasília, 2017.

ROCHA, J. C. Cor luz, Cor Pigmento e os Sistemas RGB e CMY. **Revista Belas Artes**, 2011. Disponível em: < <http://www.belasartes.br/revistabelasartes/downloads/artigos/3/cor-luz-cor-pigmento-e-os-sistemas-rgb-e-cmy.pdf> >.

SCHANDA, J. Colorimetry: understanding the CIE system. John Wiley & Sons, 2007.

SILVA, J.O.; PASTORE, T.C.M.; PASTORE JÚNIOR, F. Resistência ao intemperismo artificial de cinco madeiras tropicais e de dois produtos de acabamento. **Revista Ciência Florestal**, v. 17, n. 1, 17-23, 2007.

SILVA, E. S.; STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L.; PARIZ, E. Colorimetria da madeira de oito espécies nativas do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência da Madeira**, v. 6, n. 1, p. 31-37, 2015.

SILVA, R. A. F.; SETTER, C.; MAZETTE, S. S.; DE MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M. Colorimetria da madeira de trinta espécies tropicais. **Ciência da Madeira**. v. 8, n. 1, p. 36-41, 2017.

STANGERLIN, D. M.; COSTA, A. F.; GONÇALEZ, J. C.; PASTORE, T. C. M.; GARLET, A. Monitoramento da biodeterioração da madeira de três espécies amazônicas pela técnica da colorimetria. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 4, 2013.

VANCLAY, J.K.; HENSON, M.; PALMER, G. Color variation and correlations in *Eucalyptus dunnii* sawnwood. **Journal of Wood Science**, v.54, n.6, p.431-435, 2008.

VIEIRA, H. C.; SILVA, E.L.; SANTOS, J.X.; MUÑIZ, G.I.B.; MORRONE, S.R.; NISGOSKI, S. Wood colorimetry of native species of Myrtaceae from an Araucaria forest. **Floresta**, v. 49, n. 2, p. 353-362, 2019.

X-RITE. Tolerancing in Flexo and Offset Printing. 2015. Disponível em:

<<https://www.xrite.com/blog/tolerancing-in-flexo-and-offset-printing>>.

ZAQUE, L. A. M.; MELO, R. R.; SOUZA, E. C.; JUNIOR, L. S. Caracterização colorimétrica e da massa específica das madeiras comercializadas no Mato Grosso. **Revista Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science), v. 10, n. 3, p. 236-249, 2019.

CAPÍTULO 3

ESPECTROSCOPIA NIR DA MADEIRA E CARVÃO DE 5 *Manilkara* sp.

RESUMO

Baseando-se nas diversas vantagens apresentadas pela espectroscopia no infravermelho próximo e o sucesso de sua aplicação em conjunto com análises quimiométricas e multivariadas na análise de diversos materiais orgânicos, suas propriedades e procedência, este estudo teve como objetivos a obtenção de espectros NIR de madeira maciça e carvão de cinco sapotáceas do gênero *Manilkara*, assim como comparar a eficiência da técnica na discriminação dos espécimes e a influência da localidade e plano de corte, além de diferentes tratamentos matemáticos. Para a madeira, a melhor resposta foi àquela resultante do uso de segunda derivada de Savitzky-Golay com 21 pontos de smoothing, apresentando influência da localidade e igual tendência de distinção em todos os planos de corte. Em relação ao carvão das amostras analisadas, o uso de espectros NIR, tanto dos dados originais como após a aplicação de tratamentos matemáticos, não possibilitou a distinção entre amostras nem agrupamento em relação à localidade. Portanto, mesmo pertencente a um mesmo gênero, foi possível separar as amostras entre si, com tendência de agrupamento em relação à comunidade de origem. Contudo, para a análise do carvão, a técnica utilizada não apresentou sensibilidade suficiente para a separação, distinção ou agrupamento dos indivíduos de *Manilkara* analisados neste estudo.

Palavras chave: Discriminação de espécies; NIR; *Manilkara*.

ABSTRACT

Based on the several advantages presented by spectroscopy in the near infrared and the success of its application in conjunction with chemometric and multivariate analyzes in the analysis of various organic materials, their properties and origin, this study aimed to obtain solid wood NIR and charcoal spectra from five Sapotaceae of the genus *Manilkara*, as well as comparing the efficiency of the technique in discriminating specimens and the influence of the location and cutting plan, in addition to different mathematical treatments. For wood, the best performance was that resulting from the use of a second Savitzky-Golay derivative with 21 smoothing points, showing locality influence and an equal tendency of distinction in all cutting planes. Regarding the charcoal of the analyzed samples, the use of NIR spectra, both from the original data and after the application of mathematical treatments, did not allow the distinction between samples or grouping in relation to the location. Therefore, even belonging to the same gender, it was possible to separate the samples from each other, with a tendency of grouping relative to the community of origin. However, for the analysis of charcoal, the technique used did not show sufficient sensitivity for the separation, distinction or grouping of the individuals from *Manilkara* analyzed in this study.

Keywords: Species discrimination; NIR; *Manilkara*.

3.1 INTRODUÇÃO

A espectrometria na região do infravermelho próximo compreende uma técnica de análise não destrutiva na região entre 780 – 2.500 nm, baseada no fato de que a radiação eletromagnética causará vibrações nas moléculas do material analisado, devido à natureza de sua composição, cada composto e substância tem um quantitativo de absorção e reflexão, resultando em comportamentos espectrais únicos, funcionando assim como uma espécie de ‘impressão digital’ (DAWSON-ANDOH, ADEDIPE, 2012; MARCELO et al., 2014). Os compostos orgânicos possuem as vibrações mais simples e intensas captadas na região do infravermelho próximo, facilitando, portanto, a identificação de materiais orgânicos (TSUCHIKAWA; KOBORI, 2015).

Aliada com ferramentas de análise multivariada e quimiometria, tem sido utilizada para a identificação da origem de alimentos (vinhos, mel, óleos vegetais, erva-mate), além de estudos médicos e farmacêuticos. As vantagens de seu uso caracterizam-se pela rapidez na obtenção de resultados, facilidade de transporte (no caso de dispositivos portáteis) e uso, a não necessidade de tratamento da amostra a ser analisada, entre outros (COOPER et al., 2011; GU et al., 2014; LAZARESCU et al., 2014; MARCELO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015; YANG et al., 2015).

Na área da tecnologia da madeira, essa metodologia vem sendo utilizada na obtenção de dados quantitativos de propriedades físicas, mecânicas e químicas da madeira e produtos derivados, assim como na identificação de espécies, diferentes gêneros, e indivíduos de mesma espécie mas diferentes origens e procedências (SANDAK et al., 2011; TSUCHIKAWA; KOBORI, 2015; NISGOSKI et al., 2016; SCHIMLECK et al., 2018; REIS et al., 2019).

Devido à heterogeneidade da composição da madeira, a intensidade da luz refletida não é uniforme entre os comprimentos de onda analisados como resultado dos diferentes tipos de ligações químicas que compõem o material e que irão absorver a energia de acordo com a sua natureza. O espectro resultante dessas interações é então analisado utilizando métodos de estatística multivariada para correlacionar as propriedades de interesse da amostra. De acordo com o resultado da correlação resultante, é possível construir modelos para predição de propriedades desde que as propriedades analisadas apresentem “assinaturas” espectrais distinguíveis nos padrões de ressonância de suas ligações químicas (LAZARESCU et al., 2016).

Após o processo de carbonização, o carvão vegetal preserva as mesmas características anatômicas do seu material originário. Contudo, a temperatura empregada neste processo é suficiente para a modificação da sua composição química que terá como predominantes o carbono e substâncias inorgânicas, já que acima de 400°C a celulose e lignina, principais constituintes da madeira, já se encontram degradados, portanto, tornando mais desafiadora sua caracterização e distinção por meio de espectroscopia no infravermelho próximo.

Assim como para a madeira, o uso de métodos não destrutivos para a identificação e distinção de amostras de carvão vegetal tem potencial para ser utilizada como ferramenta auxiliar no processo de fiscalização no comércio de tais produtos no mercado interno e internacional. Essa vocação é decorrente da facilidade na preparação e aquisição de amostras, assim como na interpretação dos resultados obtidos a partir de capacitação prévia. A literatura já possui relatos de sucesso na utilização desta técnica na análise de carvão vegetal tanto de madeiras tropicais como de espécies exóticas ao contexto brasileiro, estando o nosso país na sexta posição em número de publicação relacionadas a NIR e madeira. No Brasil o uso de lenha e carvão vegetal como insumos energéticos ainda possui significativa representatividade na matriz energética tanto no setor industrial (lenha e carvão vegetal representando 13% da matriz) como no setor residencial (em que só a lenha representa quase 25%), é de suma importância o conhecimento de suas características e sua rápida identificação considerando o fato de muitas espécies nativas apresentarem potencial energético elevado em comparação com exóticas de rápido crescimento, mas que, justamente devido à qualidade energética que apresentam, foram superexploradas e hoje constam em listas de proibição e restrição de uso (DAVRIEUX et al., 2010; MUÑIZ et al., 2013; NISGOSKI et al., 2015; BRASIL, 2019).

Portanto, os objetivos deste capítulo compreendem:

Obter espectros por NIR da madeira maciça de cinco *Manilkara* sp.;

Obter espectros por NIR do carvão de cinco *Manilkara* sp.;

Comparar a eficiência da espectroscopia no NIR na discriminação da madeira e carvão das amostras analisadas além de avaliar a influência do plano de corte e superfície das amostras;

Comparar diferentes tratamentos matemáticos e métodos de classificação nos espectros NIR na discriminação da madeira e carvão das amostras analisadas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras para o estudo estão descritas no Capítulo 1, item 1.2, página 24, e o processo de carbonização no Capítulo 1, item 1.2.4, página 27 desta dissertação.

As amostras foram lixadas e permaneceram em sala climatizada com temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e Umidade de $50 \pm 2\%$. Foram coletados espectros de forma direta, tanto da madeira quanto do carvão vegetal, nas seções transversal (X), radial (R) e tangencial (T) sendo três medições por seção, totalizando nove espectros por corpo de prova.

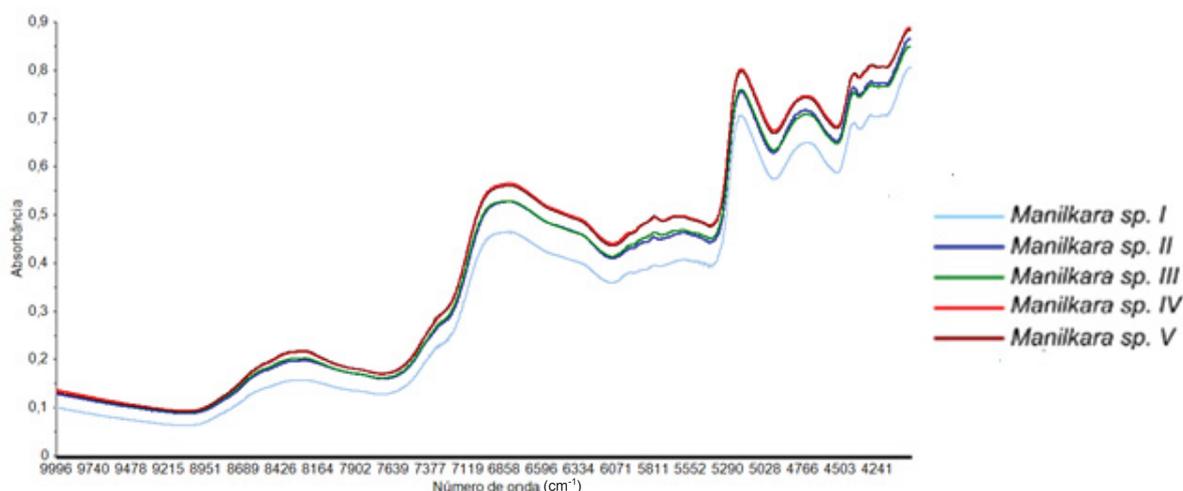
A obtenção dos espectros foi realizada por meio de um espectrômetro Tensor 37 (Bruker), adaptado com uma esfera de integração, operando em reflectância difusa (4000 a 10.000 cm^{-1}) com resolução 4 cm^{-1} e 64 de varreduras. As análises foram efetuadas em software The Unscrambler X (Versão 10.1). Os dados foram avaliados na forma original e após pré-tratamentos de primeira e segunda derivada de Savitzky-Golay (com três a vinte e um de smoothing) e MSC (full MSC em que $X = (X-a) / b$). Modelos exploratórios foram avaliados com base no gráfico de *scores* para verificar as diferenças entre as árvores e a influência do local de coleta. Também foi avaliada a influência da superfície de análise na distinção do material.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Madeira

Na Figura 3.1 é possível observar os espectros obtidos de dados originais das cinco Sapotáceas. Como são indivíduos de uma mesma família e gênero e, portanto, apresentam semelhanças em sua composição química e anatômica, é esperado que exista similaridade entre os espectros obtidos. Nota-se que há uma diferença de intensidade de absorção, em que há picos mais pronunciados, mais facilmente observados quando são comparados *Manilkara* sp. V e *Manilkara* sp. IV (maiores intensidades) com *Manilkara* sp. III (menor intensidade). É possível observar um afastamento de *Manilkara* sp. III em relação às demais amostras, as quais se agruparam em duplas, *Manilkara* sp. V e *Manilkara* sp. IV; e *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. II. Em alguns pontos do espectro analisado há sobreposição de espectros entre duas, quatro ou as cinco árvores.

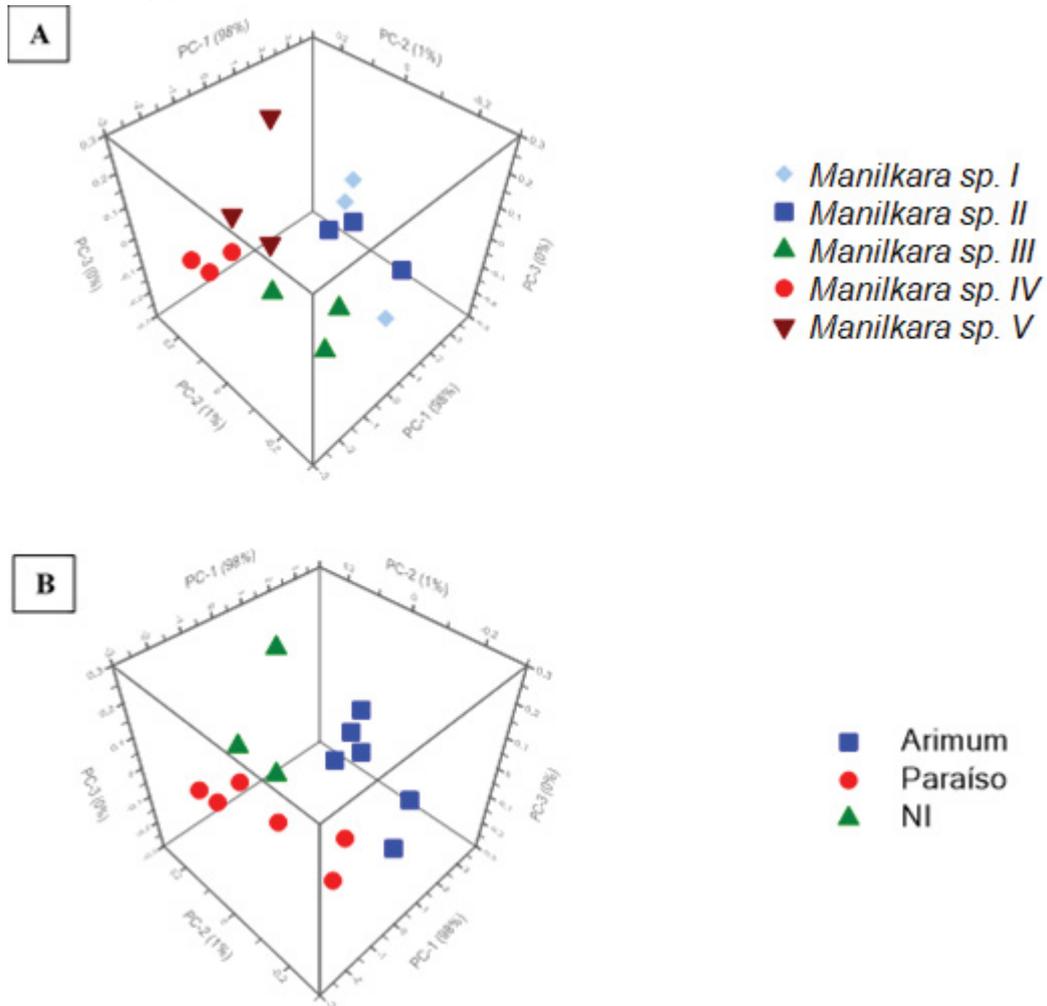
FIGURA 3.1 – ESPECTROS NIR MÉDIOS ORIGINAIS DAS CINCO *Manilkara* sp.



FONTE: A autora (2020).

Na análise resultante de PCA (Figura 3.2) é possível observar a tendência de agrupamento de *Manilkara* sp. V, *Manilkara* sp. IV e de *Manilkara* sp. III, além de *Manilkara* sp. II e *Manilkara* sp. I, mas não há clara distinção. Observa-se também uma tendência de separação em função da localidade de origem. Essa falta de distinção usando dados originais da madeira também é relatado por Soares et al. (2017), Ramalho et al. (2018) e Vieira et al. (2019).

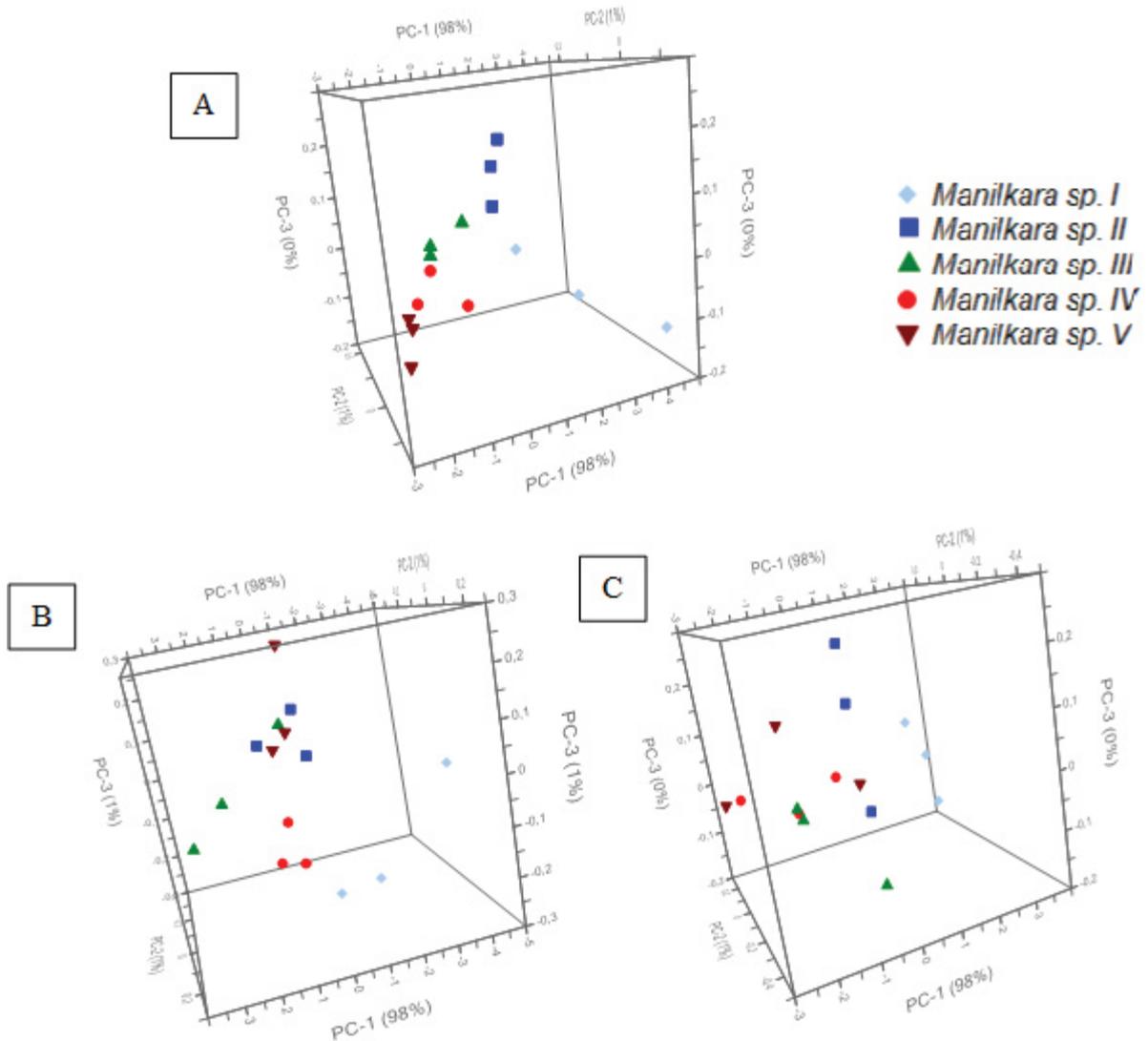
FIGURA 3.2 – GRÁFICO DE SCORES DO PCA COM ESPECTROS NIR ORIGINAIS DE CINCO *Manilkara* sp. A: MÉDIAS DOS PLANOS POR ÁRVORE; B: MÉDIAS DOS PLANOS POR LOCALIDADE



FONTE: A autora (2020).

Ao analisar a influência do plano de corte (Figura 3.3), o plano transversal foi o que apresentou melhor resposta com uma tendência de agrupamento das amostras de uma mesma árvore, mas ainda apresentando proximidade entre *Manilkara* sp. V, *Manilkara* sp. IV e *Manilkara* sp. III, enquanto as amostras de *Manilkara* sp. I apresentam-se mais afastadas das demais e relativamente dispersas no canto inferior oposto. Quanto ao plano radial, há uma maior dispersão das amostras, ocorrendo mistura entre diferentes árvores; há agrupamento entre *Manilkara* sp. V, *Manilkara* sp. II e uma amostra de *Manilkara* sp. III. *Manilkara* sp. IV apresenta maior proximidade entre suas amostras e se encontra relativamente afastada das demais; *Manilkara* sp. III se encontra mais dispersa e afastada das demais. Por último, as amostras no plano tangencial não apresentaram um padrão de agrupamento distinto, ocorrendo a dispersão das amostras.

FIGURA 3.3 – GRÁFICO DE SCORES DO PCA DOS ESPECTROS NIR ORIGINAIS MÉDIOS POR PLANO ANATÔMICO: TRANSVERSAL (A), RADIAL (B) E TANGENCIAL (C)

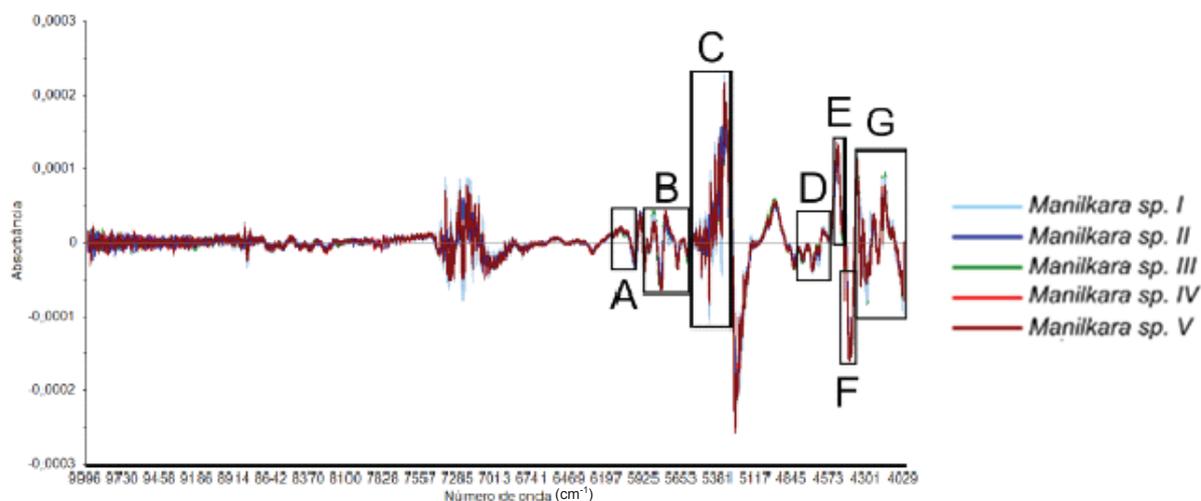


FONTE: A autora (2020).

Portanto, demonstrou-se a necessidade da aplicação de pré-tratamentos e técnicas quimiométricas, a qual também foi descrita em estudos com família Meliaceae (PASTORE et al., 2011) e Fabaceae (MUÑIZ et al., 2016) e espécies da caatinga (NISGOSKI et al., 2018).

Ao testar diferentes pré-tratamentos, o uso de segunda derivada de Savitzky-Golay (polinômio de segunda ordem) com 21 pontos de *smoothing* e dados centrados na média foi o que apresentou os melhores resultados (Figura 3.4), o que está em concordância com outros estudos (SANDAK et al., 2011; ZHANG et al., 2014; MUÑIZ et al., 2016; NISGOSKI et al., 2018).

FIGURA 3.4 - ESPECTROS NIR EM SEGUNDA DERIVADA DAS MADEIRAS DE SAPOTACEAE



FONTE: A autora (2020).

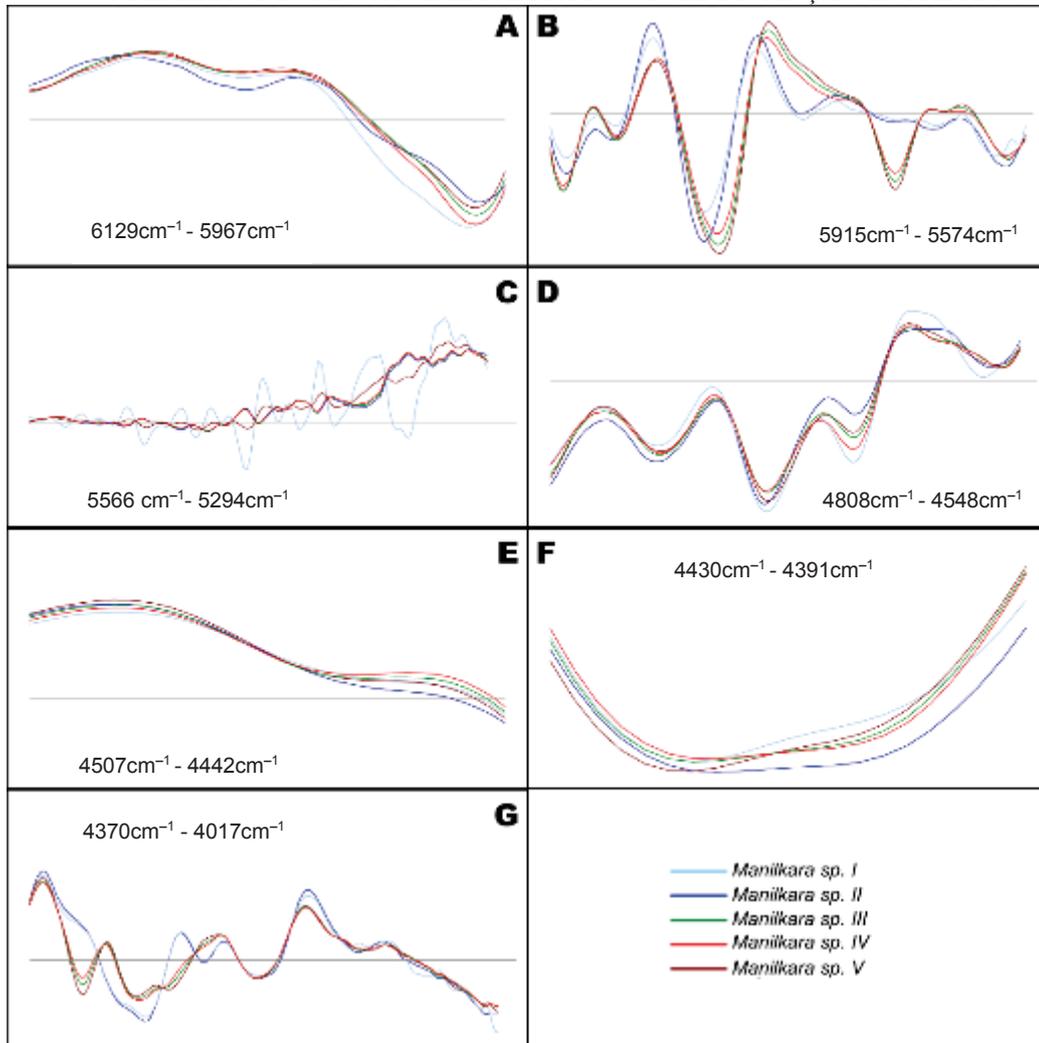
Na Figura 3.5 é possível analisar os segmentos espectrais destacados que apresentam potencial para a distinção dos espécimes analisados. Segundo Schwanninger, Rodrigues e Fackler (2011), as bandas em destaque correspondem a: A – Celulose, hemicelulose e lignina; B – Lignina, celulose e hemicelulose; C – Celulose e lignina; D – Celulose, hemicelulose e extrativos; E e F – todos os compostos; G - Celulose, hemicelulose, lignina, holocelulose e carboidratos.

No segmento “A” há leves distinções entre os espectros de *Manilkara* sp. II e *Manilkara* sp. I em relação aos demais, a maior parte devido à intensidade de absorção; já para “B” a mesma diferenciação está presente, contudo na segunda parte do segmento há comportamento distinto desses espectros em relação aos demais com a presença ou ausência de vales. Em “C” os comportamentos de *Manilkara* sp. I e de *Manilkara* sp. V se apresentam distintos dos demais; em “D” *Manilkara* sp. II apresenta diferente intensidade de absorção, enquanto *Manilkara* sp. I tem o mesmo comportamento, exceto pelo fim da banda analisada em que apresenta um pico mais largo seguido por um vale.

Em “E” existe apenas uma pequena variação de intensidade em dois pontos do segmento, no início para *Manilkara* sp. I e ao fim para *Manilkara* sp. II; para “F”, *Manilkara* sp. I e V são as que apresentam maior diferença enquanto *Manilkara* sp. II apresenta menor intensidade de absorção, mas mesmo comportamento espectral de *Manilkara* sp. III e IV. Em “G”, *Manilkara* sp. I e II apresentam comportamento semelhante entre si e diferente dos demais, *Manilkara* sp. V apresenta em algumas bandas comportamento dissonante em relação aos outros indivíduos. As diferenças apresentadas podem ser decorrentes da idade, carga

genética ou características químicas intrínsecas à espécie/subespécie, além de variação local (HEIN, CHAIX, 2014; CREMONEZ et al, 2019).

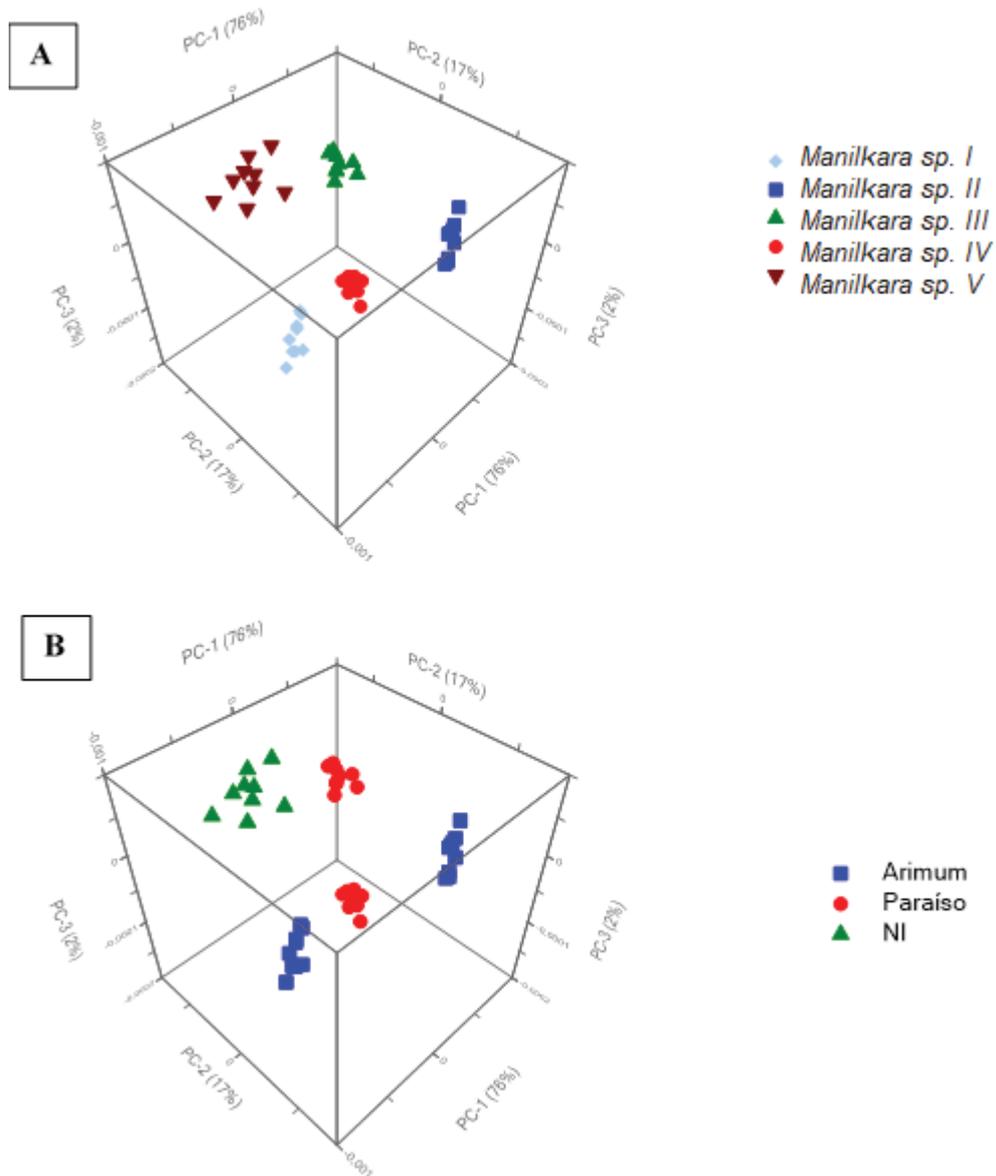
FIGURA 3.5 - BANDAS SELECIONADAS DO ESPECTRO NIR EM SEGUNDA DERIVADA DAS MADEIRAS DE SAPOTACEAE PARA A POSSÍVEL DISTINÇÃO ENTRE AMOSTRAS



FONTE: A autora (2020).

Na Figura 3.6 é possível observar a distinção das amostras por árvore e localidade utilizando a média das amostras. Nesta situação também ocorreu o agrupamento de amostras de uma mesma árvore sem a sobreposição de dados de indivíduos diferentes. *Manilkara* sp. V, *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. II encontram-se na parte superior do gráfico, enquanto *Manilkara* sp. I e *Manilkara* sp. IV encontram-se mais abaixo. Portanto, há uma maior influência por árvore do que por localidade.

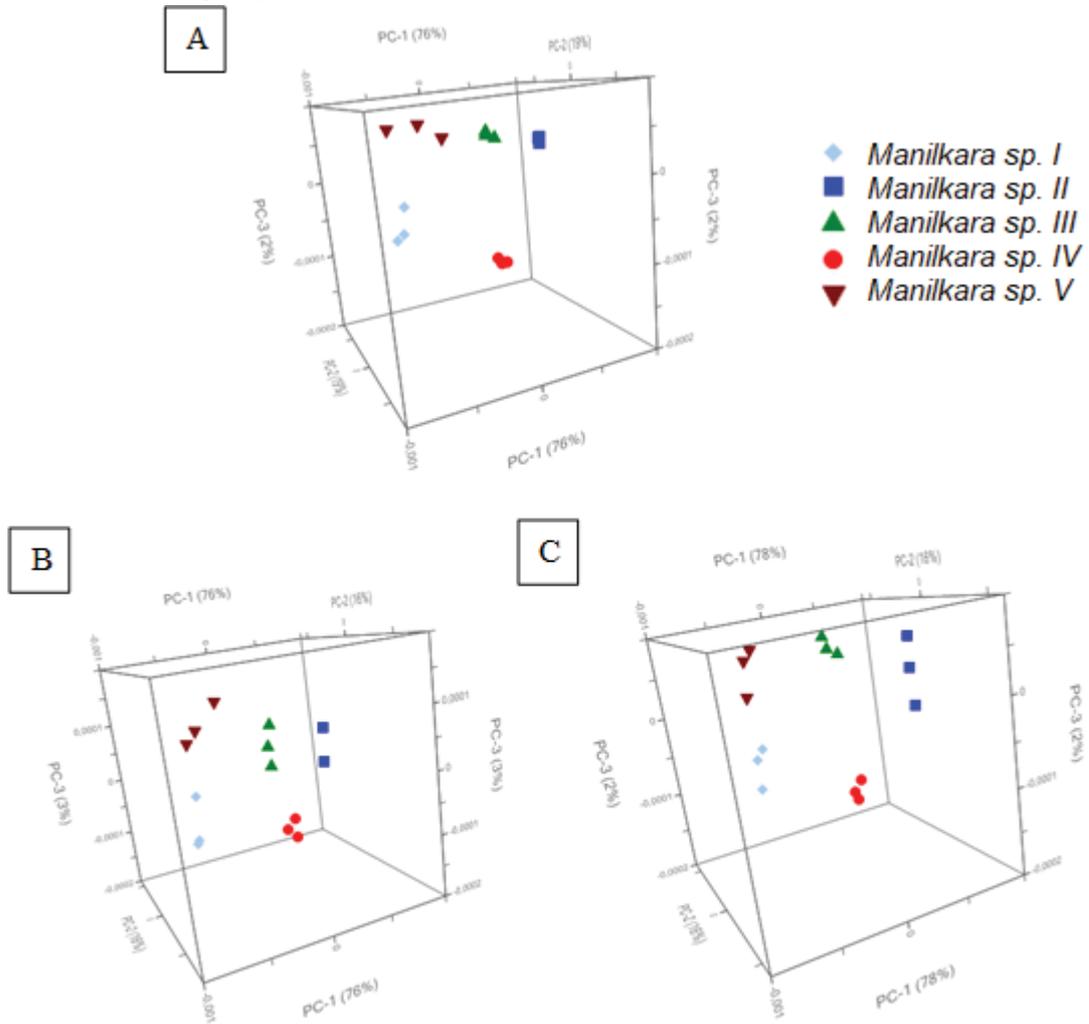
FIGURA 3.6 – GRÁFICO DE SCORES DO PCA COM ESPECTROS NIR EM SEGUNDA DERIVADA DAS AMOSTRAS DE MADEIRA DE SAPOTACEAE. A) POR AMOSTRA; B) POR PROCEDÊNCIA



FONTE: A autora (2020).

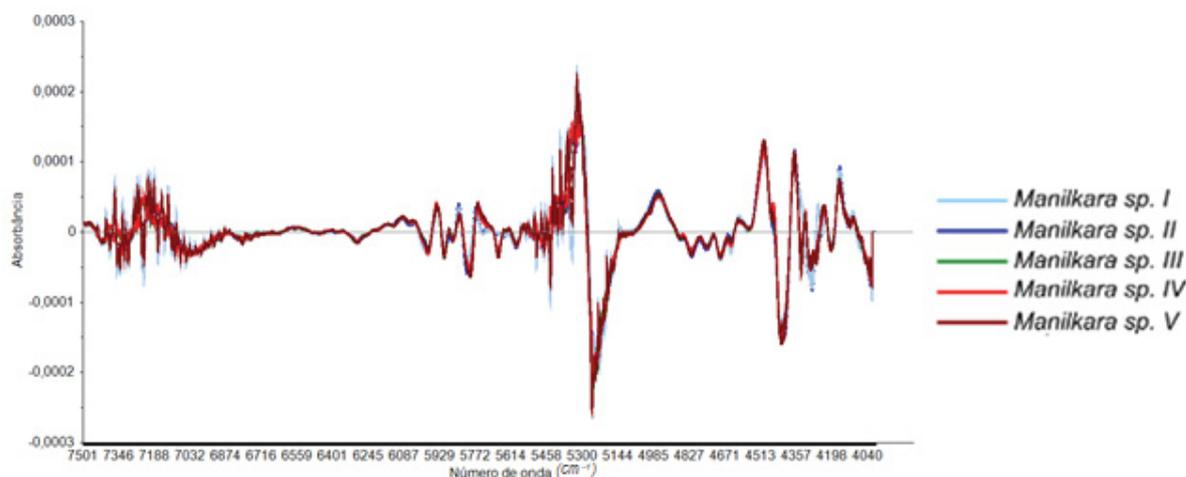
Na Figura 3.7 é possível observar que a tendência de separação das amostras está presente em todos os planos. As amostras de uma mesma árvore estão agrupadas sem mistura ou sobreposição entre amostras de diferentes árvores. Ademais, *Manilkara* sp. V, *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. II estão agrupadas na parte superior enquanto *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. IV se apresentam na parte inferior. No plano transversal há uma menor distância entre amostras de uma mesma árvore em comparação com os demais planos.

FIGURA 3.7- GRÁFICO DE SCORES DO PCA COM ESPECTROS NIR MÉDIOS EM SEGUNDA DERIVADA POR PLANO ANATÔMICO: A: TRANSVERSAL, B: RADIAL, C: TANGENCIAL



FONTE: A autora (2020).

A partir do espectro anterior, bandas com influência de água foram retiradas e o espectro a seguir foi obtido (Figura 3.8).

FIGURA 3.8 – ESPECTRO NIR MÉDIO EM SEGUNDA DERIVADA NA REGIÃO DE 7500 – 4000 CM^{-1} 

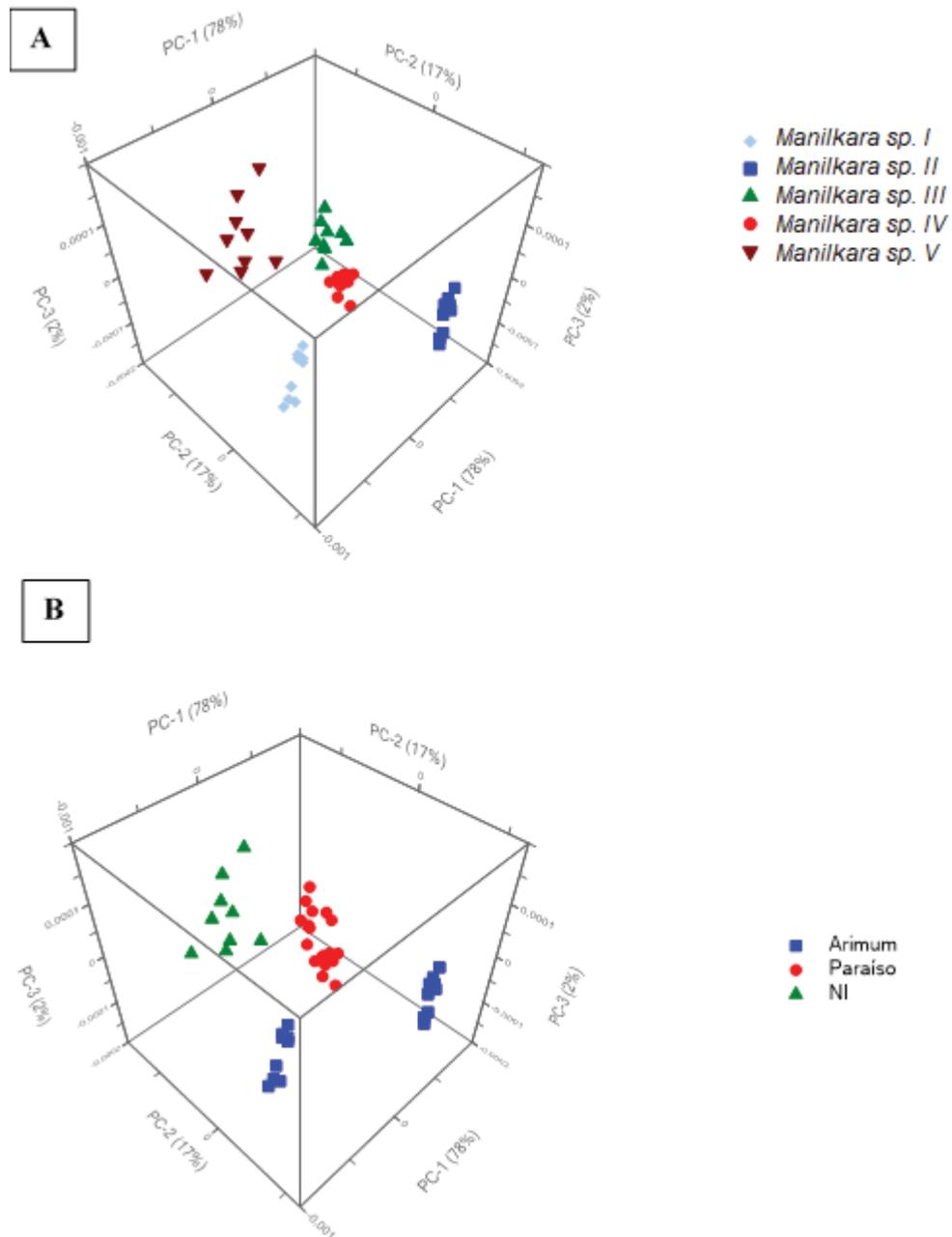
FONTE: A autora (2020).

Observando-se o gráfico resultante dos *scores* da PCA (Figura 3.9) com as bandas entre 7500 a 4000 cm^{-1} pode-se constatar que *Manilkara* sp. V, *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. IV (Figura 3.9a), possuindo influência da procedência, padrão de agrupamento evidenciado na Figura 3.9b. O agrupamento ou afastamento das amostras também está de acordo com os resultados observados para a anatomia da madeira descritos no capítulo 1.

O intervalo entre 7500 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} ainda apresenta regiões com ruído, ao retirá-las foi obtido o espectro que compreende 6900 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} (6900 cm^{-1} - 5500 cm^{-1} e 5100 cm^{-1} - 4000 cm^{-1}), mas os resultados foram muito semelhantes ao intervalo total, não apresentando maior distinção das amostras. Essa faixa está próxima à utilizada por Nisgoski et al. (2016) ao analisar indivíduos de *Cryptomeria japonica* de seis localidades diferentes e Muñiz et al. (2016) em estudo sobre espécies comercialmente conhecidas como angelim.

Portanto, mediante uso de segunda derivada, foi possível a distinção de amostras por indivíduo e a influência do local de coleta das cinco *Manilkara* sp. analisadas, semelhante ao relato por Sandak, Sandak e Negri (2011) ao analisar indivíduos da mesma espécie de abeto de diferentes regiões da Europa e diferentes localidades da Itália usando FT-NIR.

FIGURA 3.9 – GRÁFICO DE SCORES DO PCA DOS ESPECTROS NIR MÉDIOS EM SEGUNDA DERIVADA DA MADEIRA DE CINCO SAPOTÁCEAS NA REGIÃO ENTRE 7500 A 4000 CM^{-1} . A: MÉDIAS DOS PLANOS POR ÁRVORE; B: MÉDIAS DOS PLANOS POR LOCALIDADE



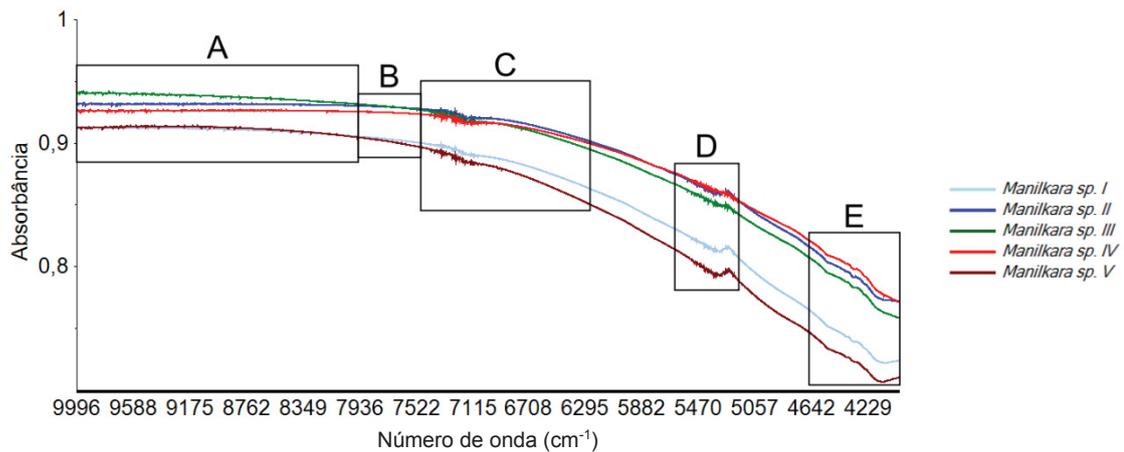
FONTE: A autora (2020).

3.3.2 Carvão

No espectro médio do carvão (Figura 3.10), obtido com os dados sem pré-tratamento, é possível observar uma aproximação de *Manilkara* sp. II, *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. IV, ocorrendo inclusive sobreposição em algumas bandas, enquanto *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. V encontram-se mais afastados dos demais e próximos entre si, ocorrendo

também a sobreposição de uma parte do espectro. É válido salientar que, devido ao processo de carbonização e, portanto, saída, degradação e mudanças químicas dos elementos constituintes da madeira, o carvão possui um alto teor de carbono, resultando uma intensidade de absorção reduzida quando comparada com a madeira (DAVRIEUX et al., 2010; MUÑIZ et al., 2013; NISGOSKI et al., 2015).

FIGURA 3.10 – ESPECTROS NIR MÉDIOS ORIGINAIS DO CARVÃO DE CINCO SAPOTÁCEAS

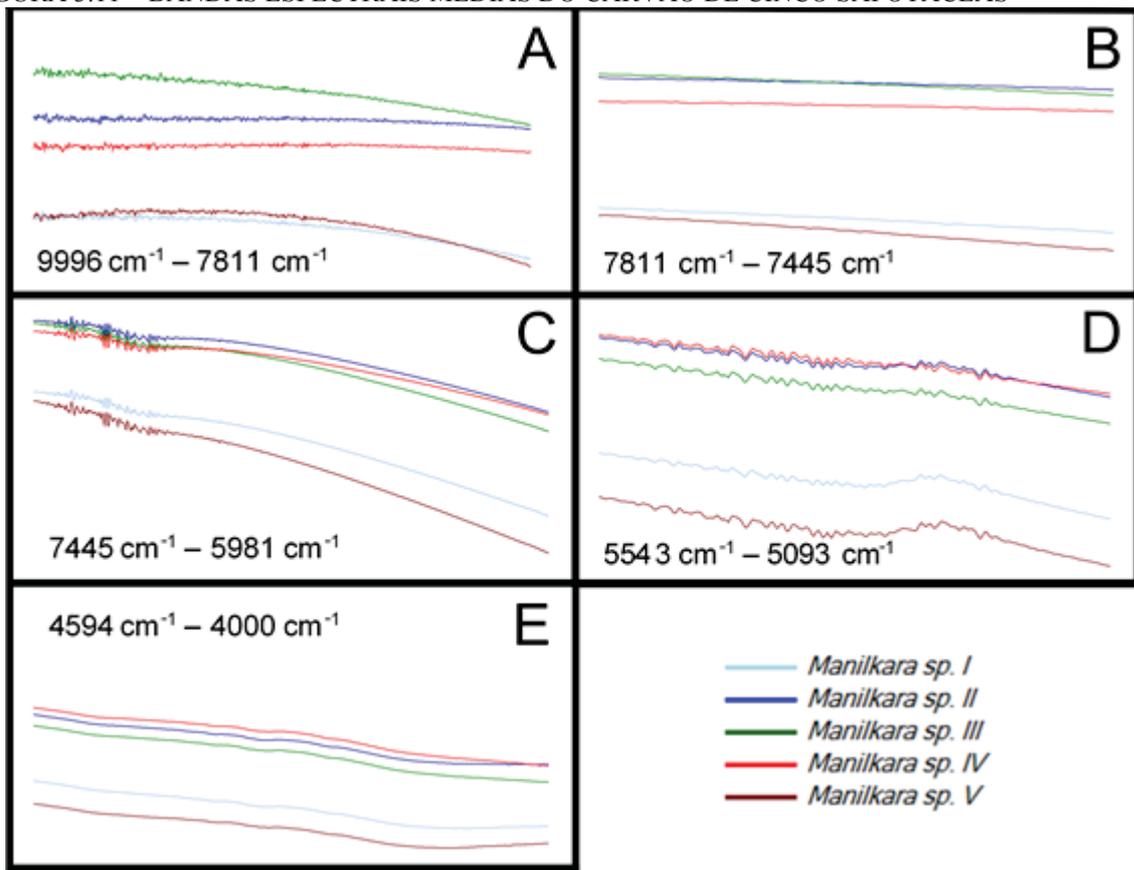


FONTE: A autora (2020).

Na Figura 3.11 é possível observar bandas do espectro com potencial para distinção dos indivíduos analisados. Os espectros de maneira geral apresentam ruídos na informação, ou seja, a linha é irregular, o que é resultado do material em que o mesmo foi obtido, o carvão, o qual apresenta muitas “microfissuras” em função do processo de carbonização, mas de qualquer maneira existe informação espectral para ser aplicada na análise e distinção das amostras (BRUNNER et al., 1996; PASTORE et al., 2011; REIS et al., 2019).

É possível observar que em todos os segmentos há uma tendência de separação entre *Manilkara* sp. V e *Manilkara* sp. I e as demais amostras, em sua maioria devido à intensidade de absorção. Nos segmentos A e B existem sutis variações no comportamento espectral de *Manilkara* sp. III e V, enquanto também há a variação de intensidade. Já para os segmentos C – E há variação apenas na intensidade.

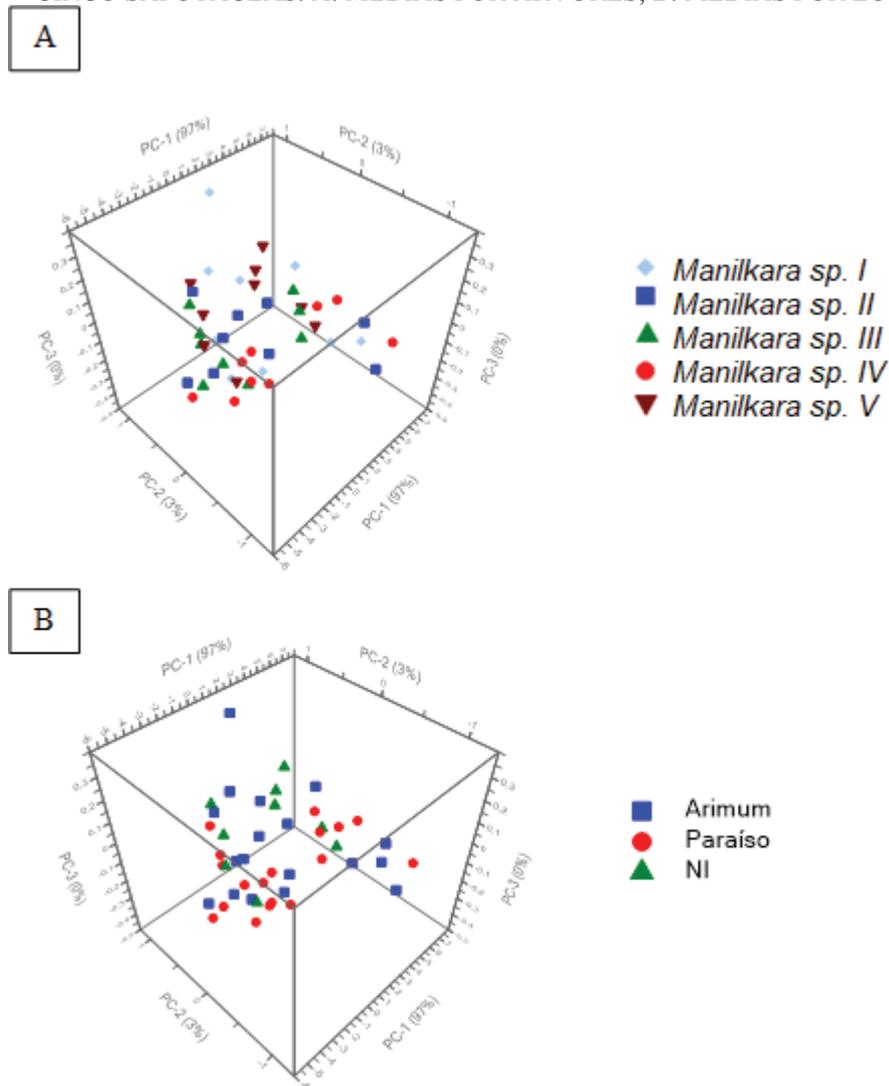
FIGURA 3.11 – BANDAS ESPECTRAIS MÉDIAS DO CARVÃO DE CINCO SAPOTÁCEAS



FONTE: A autora (2020).

Ao analisar o gráfico de scores resultante da PCA é possível constatar que não há claro agrupamento de amostras da mesma árvore nem distinção entre amostras de diferentes indivíduos (Figura 3.12a), assim como há dispersão quanto a localidade (Figura 3.12b).

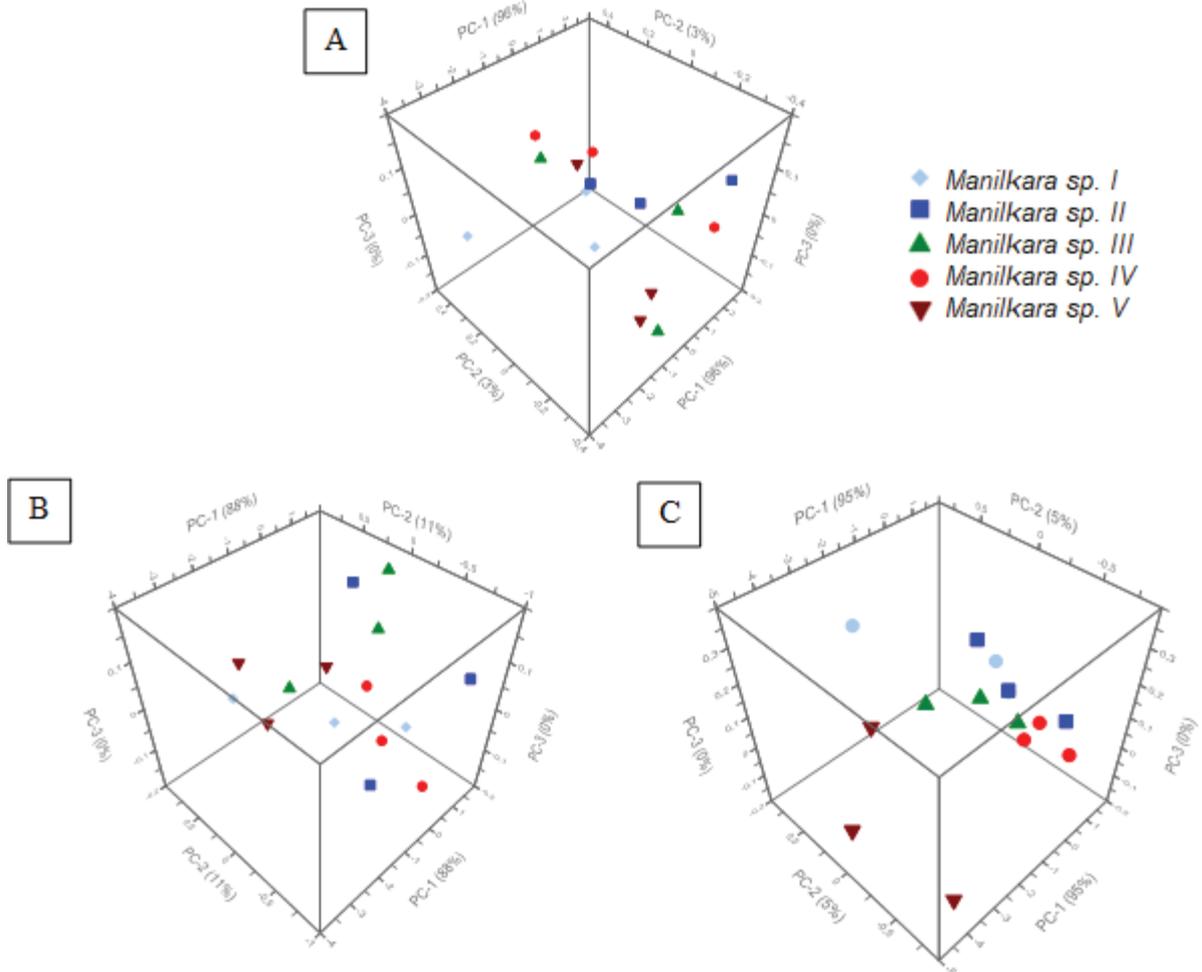
FIGURA 3.12 – GRÁFICOS DE SCORES DO PCA COM ESPECTRO ORIGINAL MÉDIO DO CARVÃO DE CINCO SAPOTÁCEAS: A: MÉDIAS POR ÁRVORES; B: MÉDIAS POR LOCALIDADE



FONTE: A autora (2020).

Ao analisar os dados dos planos de corte separadamente (Figura 3.13), também não é possível observar distinção exceto pelo afastamento de *Manilkara sp. V* no plano tangencial e o agrupamento dos dados de *Manilkara sp. IV* e *Manilkara sp. III* ainda que próximos de *Manilkara sp. II* e *Manilkara sp. III*.

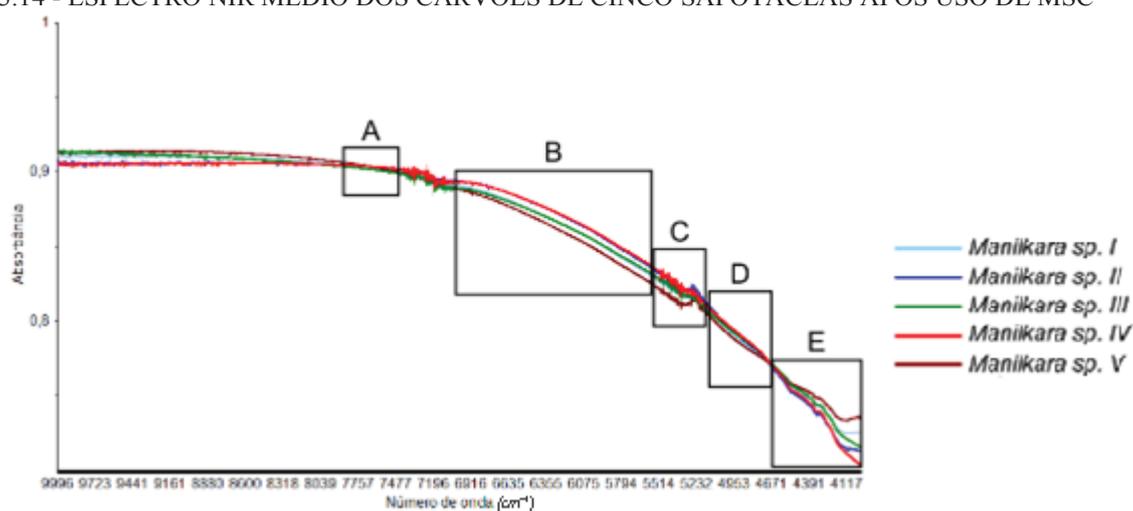
FIGURA 3.13 – GRÁFICOS DE SCORES DO PCA COM ESPECTRO NIR ORIGINAL MÉDIO DO CARVÃO DE CINCO SAPOTÁCEAS: TRANSVERSAL (A), RADIAL (B), TANGENCIAL (C)



FONTE: A autora (2020).

Na ausência de distinção a partir dos dados originais e da observação da influência da linha de base, alguns pré-tratamentos foram testados. Na Figura 3.14 é possível observar o espectro dos carvões obtidos das madeiras da RESEX com dados pré-tratados com MSC, melhor tratamento entre os testados neste estudo.

FIGURA 3.14 - ESPECTRO NIR MÉDIO DOS CARVÕES DE CINCO SAPOTÁCEAS APÓS USO DE MSC

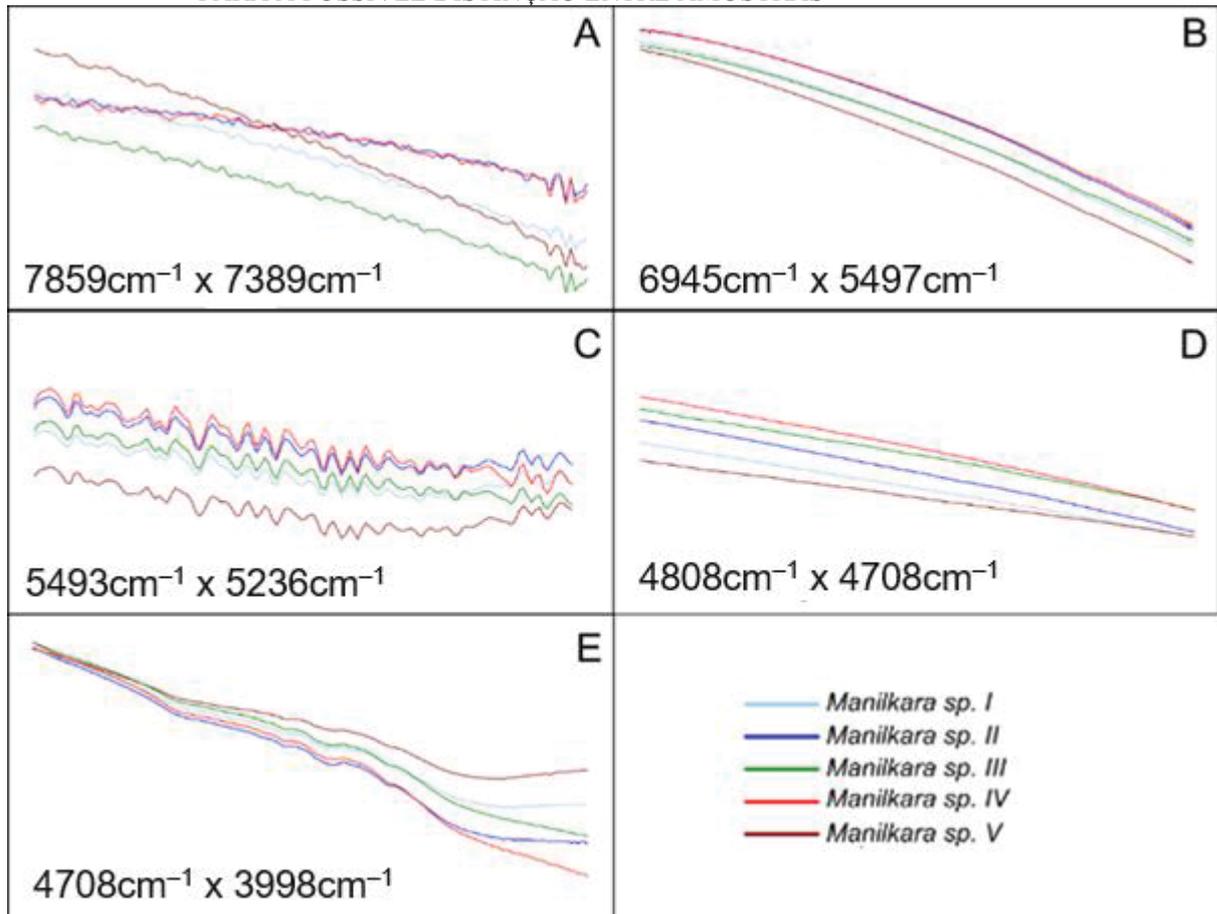


FONTE: A autora (2020).

Em todos os segmentos destacados (Figura 3.15) há uma aproximação dos espectros dos indivíduos de *Manilkara* sp. II (proveniente da localidade Arimum) com *Manilkara* sp. IV (proveniente da localidade Paraíso) e, exceto nos segmentos “A” e “D”, de *Manilkara* sp. IV (proveniente da localidade Arimum) com *Manilkara* sp. III (proveniente da localidade Paraíso). Exceto no segmento “A”, o espectro de *Manilkara* sp. V é o que se apresenta mais distante dos demais, contudo, o comportamento espectral é muito semelhante para todos os indivíduos em todos os segmentos destacados.

Segundo Schwanninger, Rodrigues e Fackler (2011), as bandas em destaque correspondem a: A – todos os compostos; B – Lignina, celulose, extrativos e hemicelulose; C – Celulose, hemicelulose e lignina; D – Celulose e hemicelulose; E – carboidratos e todos os compostos.

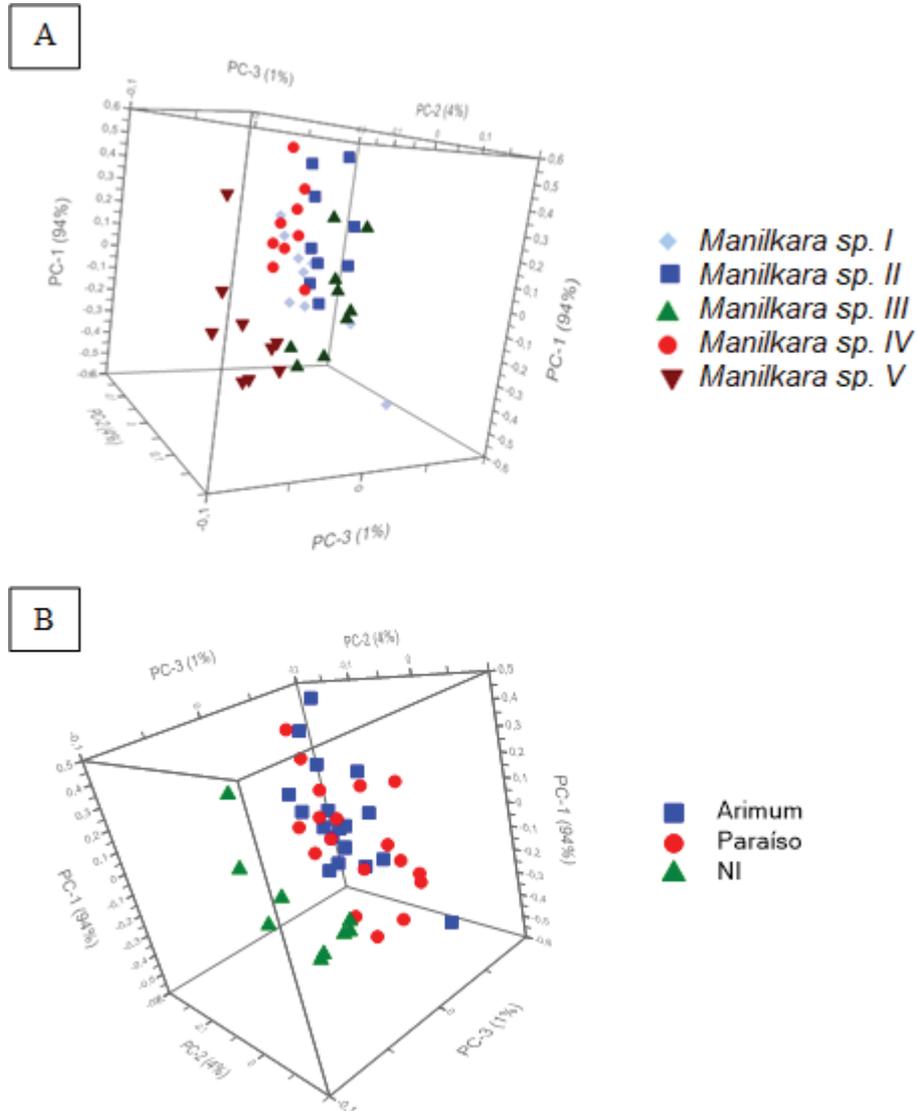
FIGURA 3.15 - BANDAS SELECIONADAS DO ESPECTRO NIR MÉDIO DOS CARVÕES APÓS MSC PARA A POSSÍVEL DISTINÇÃO ENTRE AMOSTRAS



FONTE: A autora (2020).

Quanto aos scores obtidos (Figura 3.16), é possível observar uma tendência de separação de *Manilkara* sp. V em relação às demais amostras que estão bem mais próximas, ocorrendo inclusive algumas sobreposições entre *Manilkara* sp. IV, *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. II (Figura 3.16a). Quanto à localidade (Figura 3.16b), há uma tendência de separação entre *Manilkara* sp. V e as demais, que estão agrupadas mesmo sendo de diferentes localidades.

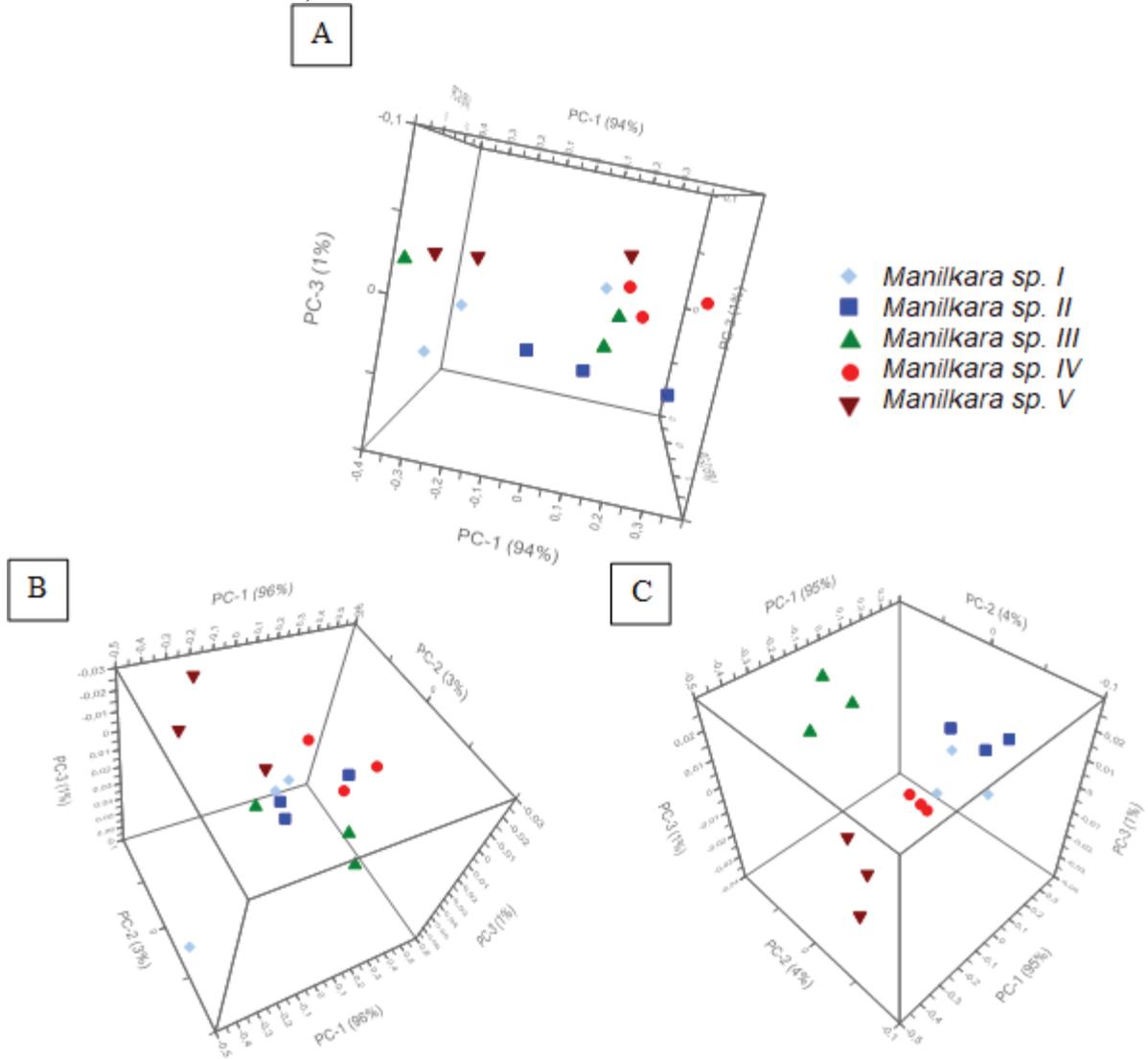
FIGURA 3.16 – GRÁFICO DE SCORES DO PCA COM ESPECTRO NIR MÉDIO DO CARVÃO COM DADOS TRATADOS COM MSC. A: MÉDIAS POR ÁRVORE; B: MÉDIAS POR LOCALIDADE



FONTE: A autora (2020).

Quanto ao plano de corte (Figura 3.17), é possível observar que o plano transversal é o que apresenta menor separação entre amostras de diferentes árvores e menor agrupamento de amostras da mesma árvore. No plano radial é possível observar a tendência de separação de *Manilkara sp. V* em relação às demais, já no tangencial é observada a separação de *Manilkara sp. V* e *Manilkara sp. III*, enquanto *Manilkara sp. II*, *Manilkara sp. III* e *Manilkara sp. IV* encontram-se agrupadas, mas sem sobreposição de diferentes amostras. Sendo, portanto, o plano tangencial aquele que apresenta a melhor separação entre amostras de diferentes árvores e melhor agrupamento de dados de um mesmo indivíduo.

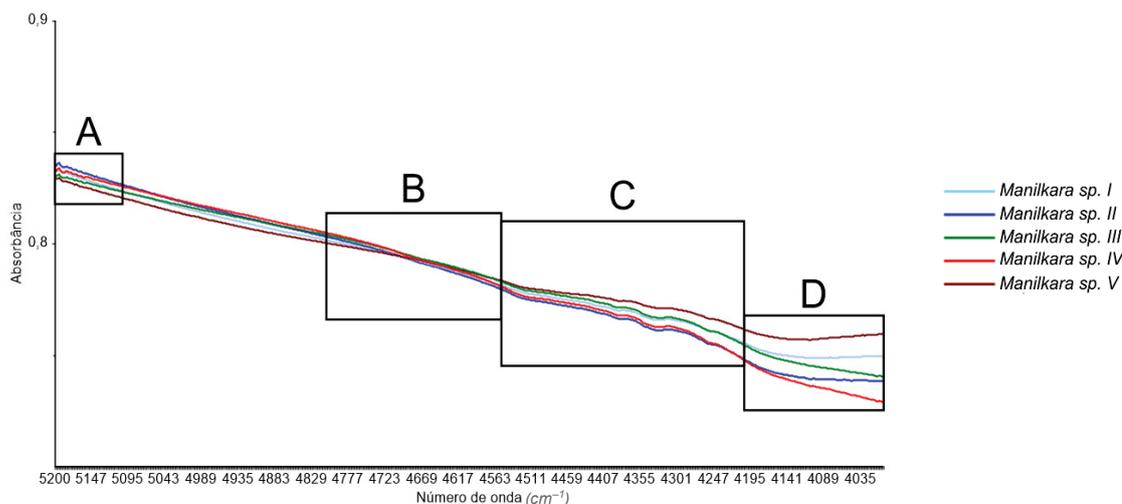
FIGURA 3.17 – GRÁFICO DE SCORES DO PCA COM ESPECTRO NIR MÉDIO DO CARVÃO TRATADOS COM MSC POR PLANOS DE CORTE: A: TRANSVERSAL, B: RADIAL, C: TANGENCIAL



FONTE: A autora (2020).

Ao reduzir o número de onda do espectro analisado, focando nas bandas que contém informações relevantes e que não possuem influência da umidade, foi obtido o espectro (Figura 3.18) que compreende a faixa entre 5200 e 4000 cm^{-1} .

FIGURA 3.18 – ESPECTRO NIR MÉDIO DO CARVÃO DE 5 SAPOTÁCEAS DOS DADOS TRATADOS COM MSC NA FAIXA ENTRE 5200 E 4000 cm^{-1}

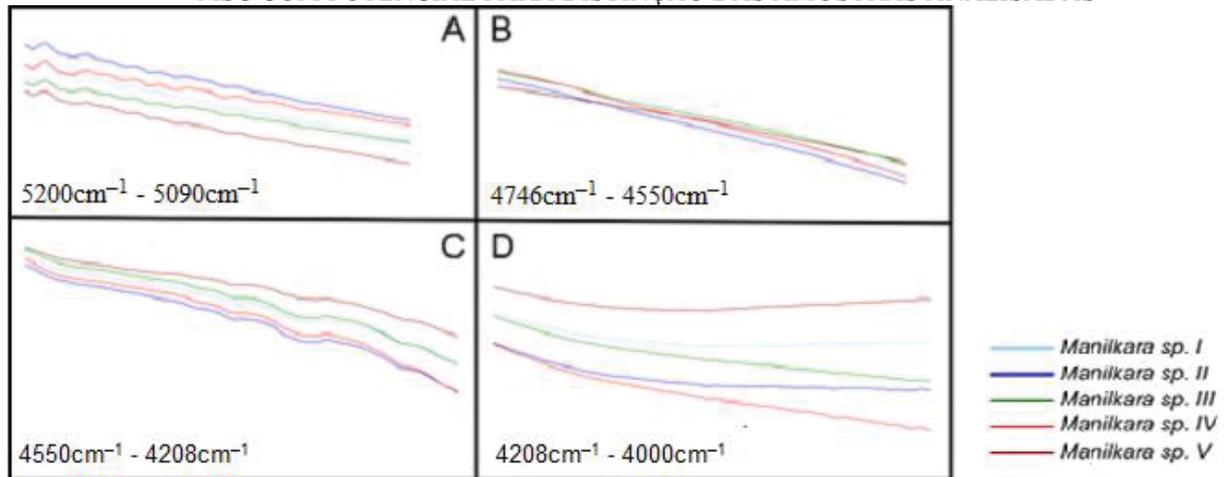


FONTE: A autora (2020).

Na Figura 3.19 são apresentados quatro segmentos que se destacaram no espectro anterior. No segmento A, entre 5200 e 5090 cm^{-1} , há uma aproximação entre *Manilkara* sp. II e *Manilkara* sp. IV e entre *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. V, em que o primeiro duo apresenta uma intensidade ligeiramente maior; *Manilkara* sp. III se encontra entre os dois agrupamentos, sobrepondo-se por um breve intervalo com *Manilkara* sp. IV e em seguida com *Manilkara* sp. III. Já no início do segmento B há aproximação entre *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. IV, e entre *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. V; contudo, na segunda metade deste segmento o comportamento se altera para um distanciamento de *Manilkara* sp. II das demais amostras e aproximação entre *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. IV (de diferentes localidades) e entre *Manilkara* sp. V e *Manilkara* sp. III.

O segmento C demonstra uma aproximação de todas as amostras em seu início, a qual evolui para um distanciamento de *Manilkara* sp. V das demais amostras que se agrupam em *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. I, e em *Manilkara* sp. IV e *Manilkara* sp. II, amostras de diferentes localidades. A primeira metade do segmento D segue esta tendência de agrupamento e isolamento, contudo, na segunda parte há uma aproximação entre *Manilkara* sp. III e *Manilkara* sp. II. Esta situação é também visualizada ao analisar o gráfico de scores resultante de PCA (Figura 3.20).

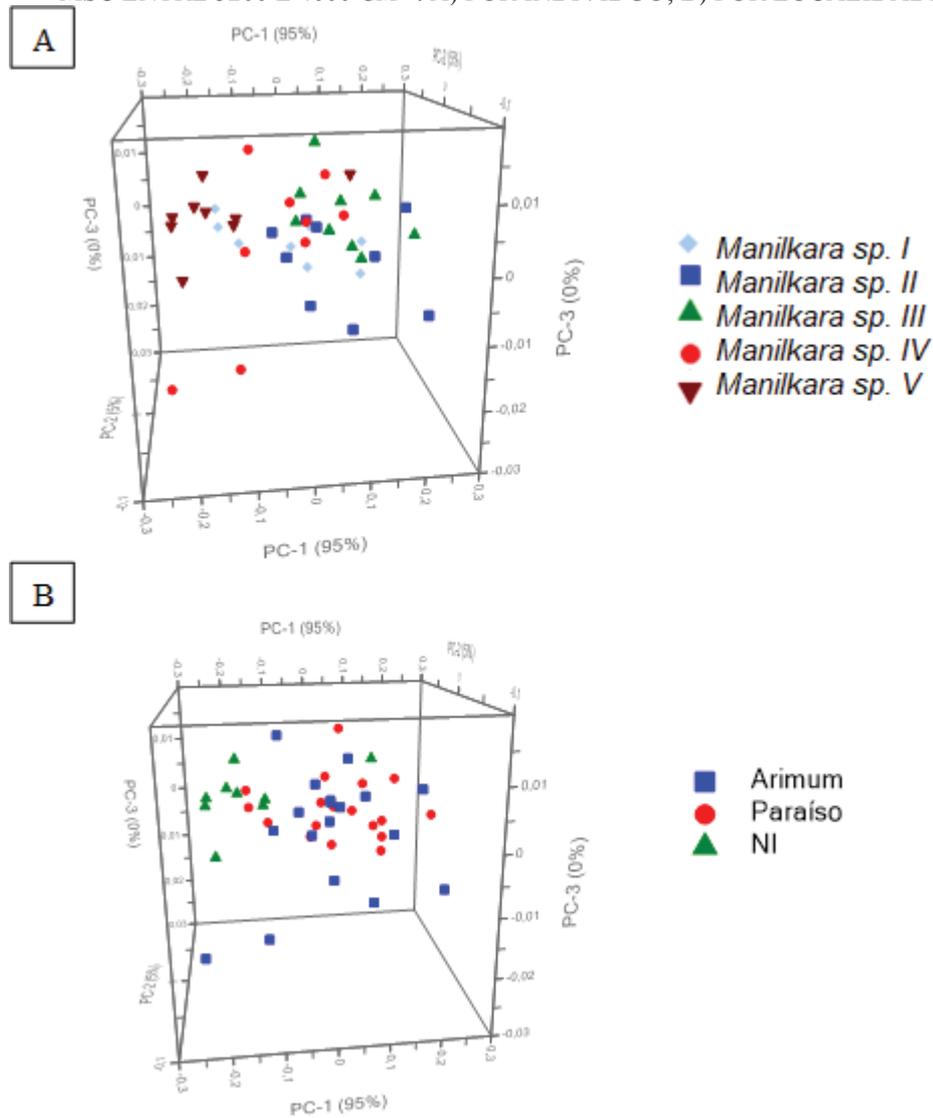
FIGURA 3.19 – BANDAS DO ESPECTRO NIR MÉDIO DO CARVÃO DE CINCO SAPOTÁCEAS APÓS MSC COM POTENCIAL PARA DISTINÇÃO DAS AMOSTRAS ANALISADAS



FONTE: A autora (2020).

Na Figura 3.20a é possível observar que não existe padrão de segregação ou agrupamento das amostras quanto à árvore, o mesmo ocorre quanto à localidade, analisada na Figura 3.20b.

FIGURA 3.20 – GRÁFICO DE SCORES DO PCA DOS ESPECTROS NIR DO CARVÃO TRATADOS COM MSC ENTRE 5200 E 4000 CM^{-1} . A) POR INDIVÍDUO; B) POR LOCALIDADE



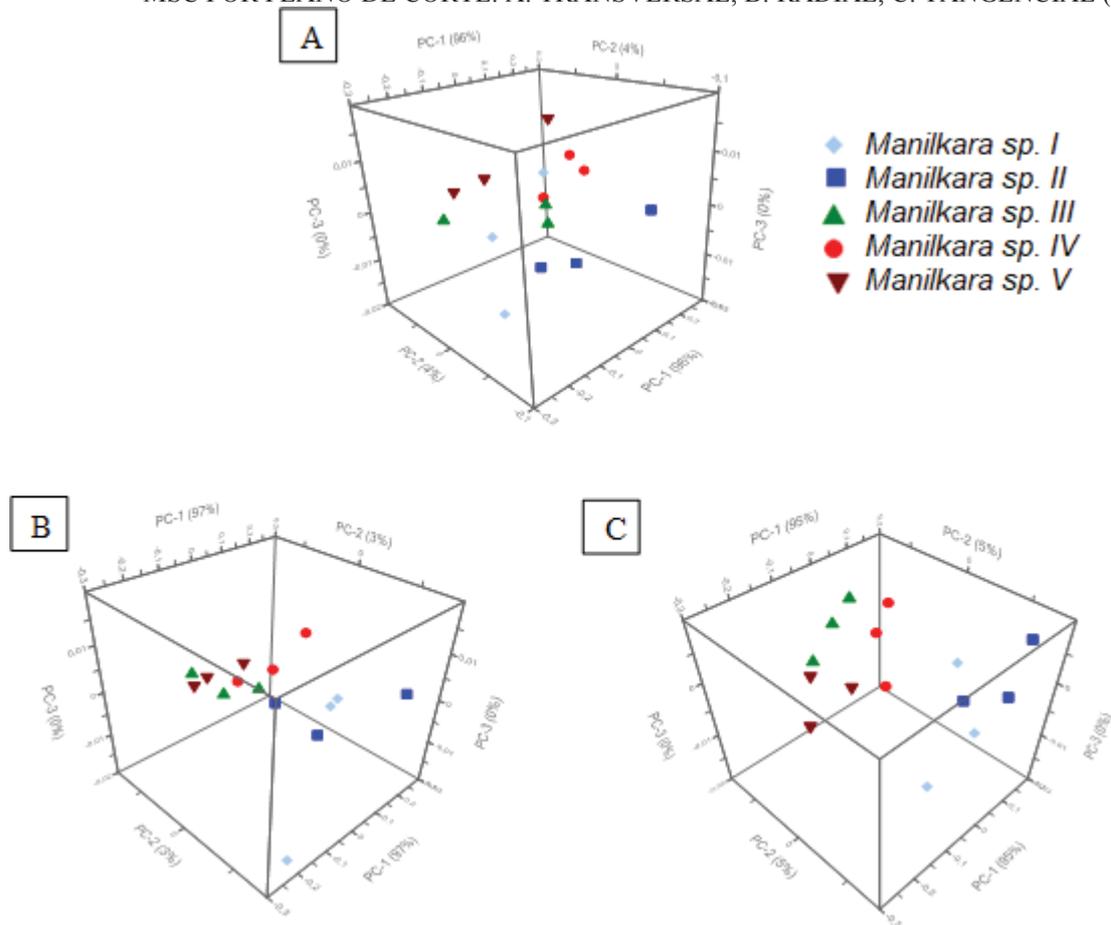
FONTE: A autora (2020).

Contudo, ao analisar os planos de corte separadamente (Figura 3.21), é perceptível uma tendência de separação de *Manilkara sp. II* no plano transversal, enquanto o radial não existe uma tendência de segregação de nenhuma das amostras. Já no tangencial, há uma maior tendência de agrupamento de amostras de um mesmo indivíduo além de separação entre localidades em que *Manilkara sp. II* e *Manilkara sp. III* estão agrupadas enquanto *Manilkara sp. V*, *Manilkara sp. III* e *Manilkara sp. IV* também apresentam uma tendência de agrupamento, da mesma forma que foi verificado para os espectros NIR da madeira.

A ausência de expressiva distinção entre amostras de carvão pode ser justificada pela baixa absorção inerente a este material associado com a grande semelhança anatômica e química das amostras analisadas (RAMALHO et al., 2018). Ademais, outros trabalhos

também aplicaram pré-tratamentos em dados espectrais de carvão vegetal e não conseguiram uma melhoria do sinal ou melhores resultados estatísticos (ANDRADE et al., 2012; RAMALHO et al., 2018; COSTA et al., 2018).

FIGURA 3.21. GRÁFICO DE SCORES DO PCA COM ESPECTRO NIR DO CARVÃO TRATADO COM MSC POR PLANO DE CORTE: A: TRANSVERSAL, B: RADIAL, C: TANGENCIAL (T)



FONTE: A autora (2020).

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na análise do espectro NIR das madeiras de cinco sapotáceas amazônicas, os resultados foram influenciados pelo pré-tratamento e região espectral analisada. O melhor pré-tratamento utilizado foi a segunda derivada de Savitzky-Golay assim como destacam-se resultados mais satisfatórios quando da análise de parte do espectro (6900 – 4000 cm^{-1}). Em razão dos cinco indivíduos pertencerem à mesma família e gênero, as diferenças espectrais são sutis.

Na faixa espectral de destaque, não houve diferença na influência dos planos de corte, em que todos apresentaram a mesma tendência quando analisados em um gráfico de scores.

Portanto, é de suma importância a construção de um banco de dados que possa abranger a maior variabilidade possível de características, sendo assim robusto, e viabilizando a aplicação desta técnica na identificação da madeira em campo.

Quanto ao espectro NIR dos carvões analisados não foi possível a identificação de uma expressiva distinção entre as árvores ou localidades analisadas mesmo utilizando pré-tratamentos estatísticos e análise do espectro sem influência de bandas relacionadas à presença de água.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C.R.; TRUGILHO, P. F.; HEIN, P.R.G.; LIMA, J. T.; NAPOLI, A. Near infrared spectroscopy for estimating *Eucalyptus* charcoal properties, **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 20, p. 657–666, 2012.

BRASIL. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional**: ano base 2018. Ministério de Minas e Energia, 2019.

BRUNNER, M.; EUGSTER, R.; TRENKA, E.; BERGANMINSTROTZ, L. 1996. FT-NIR spectroscopy and wood identification. **Holzforschung**, v.50, n.2, p.130–134, 1996.

COOPER, P. A.; JEREMIC, D.; RADIVOJEVIC, S.; UNG, Y. T. and Leblon B. Potential of near-infrared spectroscopy to characterize wood products. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 41, p. 2150–2157, 2011.

COSTA, L. R.; TRUGILHO, P. F.; HEIN, P. R. G. Evaluation and classification of Eucalypt charcoal quality by near infrared spectroscopy. **Biomass and Bioenergy**, v. 112, p. 85-92, 2018.

CREMONEZ, V.G.; KLITZKE, R.J.; SILVA, E.J.; MUÑIZ, G.I.B.; NISGOSKI, S. Influence of age on the discrimination of *Tectona grandis* by VIS/NIR spectroscopy. **Floresta e Ambiente** 2019; 26(2): e20170159.

DAVRIEUX, F.; ROUSSET, P.L.A.; PASTORE, T.C.M.; MACEDO, L.A.; QUIRINO, W.F. Discrimination of native wood charcoal by infrared spectroscopy. **Química Nova**, v. 33, n. 5, p. 1093–1097, 2010.

DAWSON-ANDOH, B.; ADEDIPE, O.E. Rapid spectroscopic separation of three Canadian softwoods. **Wood Science and Technology**, v. 46, n. 6, p. 1193-1202, 2012.

GU, Y.; SHOU, G.; ZHANG, W.; ZHAO, D. Application of near infrared spectroscopy for discrimination of similar rare woods in the Chinese market. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 22, n. 6, p. 423–431, 2014.

HEIN, P.R.G.; CHAIX, G. NIR spectral heritability: a promising tool for wood breeders?. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 22, n. 2, p. 141-147, 2014.

LAZARESCU, C.; PANAGIOTIDIS, K.; AVRAMIDIS S. Color variation of stained wood products in association to near infrared spectroscopy cans. **European Journal of Wood and Wood Products**, v.72, p. 81–85, 2014.

LAZARESCU, C.; HART, F.; PIROUZ, Z.; PANAGIOTIDIS, K.; MANSFIELD, S. D.; BARRETT, J. D.; AVRAMIDIS, S. Wood species identification by near-infrared spectroscopy. **International Wood Products Journal**, v. 8, n. 1, p. 32-35, 2017.

MARCELO, M.C.A.; MARTINS, C.A.; POZEBON, D.; FERRÃO, M.F. Methods of multivariate analysis of NIR reflectance spectra for classification of yerba mate. **Analytical Methods**, v. 6, n. 19, p. 7621-7627, 2014.

MUÑIZ, G.I.B.; CARNEIRO, M.E.; NISGOSKI, S.; RAMIREZ, M.G.L.; MAGALHÃES W.L.E. SEM and NIR characterization of four charcoal species. **Wood Science and Technology**, v. 47, n. 4, p. 815-823, 2013.

MUÑIZ, G.I.B.; CARNEIRO, M.E.; BATISTA, F.R.R.; SCHARDOSIN, F.Z.; NISGOSKI, S. Wood and charcoal identification of five species from the miscellaneous group known in Brazil as “angelim” by near-ir and wood anatomy. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 18, n. 3, p. 505-522, 2016.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G.I.B.; MORRONE, S.R.; SCHARDOSIN, F.Z.; FRANÇA, R.F. NIR and anatomy of wood and charcoal from Moraceae and Euphorbiaceae species. **Ciência da Madeira**, v. 6, n. 3, P.183-190, 2015.

NISGOSKI, S., SCHARDOSIN, F.Z., BATISTA, F.R.R., MUÑIZ, G.I.B., CARNEIRO, M.E. Potential use of NIR spectroscopy to identify *Cryptomeria japonica* varieties from southern Brazil. **Wood Science and Technology**, v. 50, n. 1, p. 71-80, 2016.

NISGOSKI, S., BATISTA, F.R.R., NAIDE, T.L., LAUBE, N.C.C., LEÃO, A.C.R.; MUÑIZ, G.I.B. Discrimination of wood and charcoal from six caatinga species by near-infrared spectroscopy. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v.20, n.2, p. 199–210, 2018.

OLIVEIRA, A.A.; SIQUEIRA, P.H.; NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G.I.B.; FERREIRA, J.H. Identificação de madeiras utilizando a espectrometria no infravermelho próximo e redes neurais artificiais. **TEMA (São Carlos)**, v. 16, n. 2, p. 81-95, 2015.

PASTORE, T.C.M., BRAGA, J.W.B., CORADIN, V.T.R., MAGALHÃES, W.L.E., OKINO, E.Y.A., CAMARGOS, J.A.A., MUÑIZ, G.I.B., BRESSAN, O.A.; DAVRIEUX, F. Near infrared spectroscopy (NIRS) as a potential tool for monitoring trade of similar woods:

Discrimination of true magogany, cedar, andiroba and curupixá. **Holzforschung**, v.65, n.1, 73–80, 2011.

RAMALHO, F.M.G.; ANDRADE, J.M.; HEIN, P.R.G. Rapid discrimination of wood species from native forest and plantations using near infrared spectroscopy. **Forest systems**, v. 27, n. 2, p. 4, 2018.

REIS, C.A.; CISNEROS, A.B.; SILVA, E.L.; MUÑIZ, G.I.B.; MORRONE, S.R.; NISGOSKI, S. NIR spectroscopy and wood anatomy to distinguish *Prosopis alba* wood and charcoal from natural and planted forest. **International Wood Products Journal**, v.10, n.4, p.168-177, 2019.

SANDAK, A.; SANDAK, J.; NEGRI, M. Relationship between near-infrared (NIR) spectra and the geographical provenance of timber. **Wood Science and Technology**, v.45, n.1, p.35-48, 2011.

SCHIMLECK, L. R.; MATOS, J. L. M.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J. G. Comparison of methods for estimating mechanical properties of wood by NIR spectroscopy. **Journal of Spectroscopy**, v. 2018, 2018.

SCHWANNINGER, M.; RODRIGUES, J. C.; FACKLER, K. A review of band assignments in near infrared spectra of wood and wood components. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v.19, p.287–308, 2011.

SOARES, L. F.; SILVA, D. C.; BERGO, M. C. J.; CORADIN, V. T. R.; BRAGA, J. W. B.; PASTORE, T. C. M. Avaliação de espectrômetro NIR portátil e PLS-DA para a discriminação de seis espécies similares de madeiras amazônicas. **Química Nova**, v.40, n.4, p. 418–426, 2017.

TSUCHIKAWA, S.; KOBORI, H. A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. **Journal of Wood Science**, v.61, n.3, p. 213-220, 2015.

VIEIRA, H.C.; SANTOS, J.X.; SILVA, E.L.; RIOS, P.D.; MUÑIZ, G.I.B.; NISGOSKI, S. Potential of the near-infrared spectroscopy for the discrimination of wood and charcoal of four native Myrtaceae species in southern Brazil. **Wood Material Science & Engineering**, 2019.

YANG Z; LIU Y; PANG X; LI, K. Preliminary investigation into the identification of wood species from different locations by near infrared spectroscopy. **BioResources**, v.10, p. 8505-8517, 2015.

ZHANG, X.; YU, H.; LI, B.; LI, W. J.; LI, X.; BAO, C. Discrimination of *Pinus yunnanensis*, *P. kesiya* and *P. densata* by FT-NIR. **Journal Chemical Pharmaceutical Resources**, v.6, n.4, p.142-149, 2014.

CAPÍTULO 4

COMPARAÇÃO DAS TÉCNICAS DE ESPECTROSCOPIA VIS/NIR E ANATOMIA NA IDENTIFICAÇÃO DA MADEIRA E CARVÃO DE 5 *Manilkara* sp.

RESUMO

As técnicas não destrutivas de identificação de madeira apresentam peculiaridades e podem ser influenciadas pelas características das amostras, superfície de corte, tempo de armazenamento, tipo de equipamento, entre outros. Este capítulo tem por objetivo comparar as técnicas de identificação anatômica e espectroscopia VIS/NIR na distinção de amostras de madeira e carvão de maçaranduba/maparajuba. As amostras utilizadas para a construção de modelos de calibração foram provenientes da xiloteca e antracoteca do Laboratório de Anatomia da Madeira, da UFPR. As amostras utilizadas para classificação e identificação são as provenientes da RESEX Verde para Sempre descritas anteriormente nesta dissertação. As metodologias de análise foram descritas nos capítulos anteriores. Houve variação de classificação dentro e entre as técnicas utilizadas. A anatomia da madeira identificou todas as amostras como do gênero *Manilkara*. A espectroscopia no visível sofreu influência do plano de corte para duas amostras misturando três gêneros (*Manilkara*, *Mimusops* e *Pouteria*), e classificou outras duas amostras como do gênero *Manilkara* e uma como do gênero *Pouteria*. A espectroscopia NIR da madeira foi influenciada pela faixa do espectro utilizado classificando com o espectro total ($4000-10000\text{ cm}^{-1}$) duas amostras como do gênero *Pouteria* e as outras como *Manilkara*, enquanto que a aplicação de parte do espectro ($4000-7500\text{ cm}^{-1}$) resultou em classificação de todas as amostras como gênero *Manilkara*. A espectroscopia NIR do carvão não foi influenciada pela região do espectro e classificou todas as amostras como do gênero *Pouteria*. Todas as técnicas apresentaram dificuldades para uma identificação das amostras. Além da anatomia, método tradicional, a análise de espectros em NIR da madeira sólida foi a que se apresentou como o mais vantajoso e de maior acurácia.

Palavras chave: Infravermelho próximo; Discriminação de espécies; Madeira; Carvão; Sapotaceae.

ABSTRACT

The non-destructive techniques of wood identification present peculiarities and can be influenced by the characteristics of the samples, cutting surface, storage time, type of equipment, among others. This chapter aims to compare the techniques of anatomical identification and VIS / NIR spectroscopy in distinguishing samples of wood and charcoal from *maçaranduba* / *maparajuba*. The samples used for the construction of calibration models came from the wood collection (xylotheque) and charcoal collection of the Laboratório de Anatomia da Madeira, UFPR. The samples used for classification and identification are those from RESEX Verde para Sempre described earlier in this thesis. The analysis methodologies have been described in the previous chapters. There was variation in classification within and between the techniques used. The anatomy of the wood identified all samples as of the genus *Manilkara*. Visible spectroscopy was influenced by the cut plane for two samples mixing three genera (*Manilkara*, *Mimusops* and *Pouteria*), and classified two other samples as of the genus *Manilkara* and one as of the genus *Pouteria*. The NIR spectroscopy of the wood was influenced by the range of the spectrum used, classifying with the total spectrum (4000-10000 cm^{-1}) two samples as of the genus *Pouteria* and the others as *Manilkara*, while the application of part of the spectrum (4000-7500 cm^{-1}) resulted in the classification of all samples as genus *Manilkara*. Charcoal NIR spectroscopy was not influenced by the spectrum region and classified all samples as of the *Pouteria* genus. All techniques presented challenges for the identification of the samples. In addition to anatomy, a traditional method, the analysis of NIR spectra of solid wood was the most advantageous and most accurate method.

Keywords: Near infrared; Species discrimination; Wood; Charcoal; Sapotaceae.

4.1 INTRODUÇÃO

A identificação científica de uma amostra de madeira é importante para evitar que espécies semelhantes, que são comercializadas com a mesma nomenclatura popular, sejam confundidas, evitando a utilização do material de forma inadequada ou com qualidade inferior para determinada finalidade. Outra questão que deve ser levada em conta é a existência de várias espécies nativas no Brasil ameaçadas ou em risco de extinção, as quais são comercializadas de maneira ilegal, e uma correta identificação pode combater esta prática como ferramenta na fiscalização.

O uso de nomes vernaculares é comum nos inventários florestais, especialmente quando se baseiam em conhecimentos puramente empíricos. A maçaranduba, madeira de considerável valor comercial e alta demanda no mercado interno e fluxo de comercialização significativa no mercado externo representa um grupo de espécies com características semelhantes pertencentes aos gêneros *Manilkara*, *Mimusops*, *Micropholis*, *Pouteria* e *Chrysophyllum*, todos estes pertencentes à família Sapotaceae. Ao consultar a literatura é possível notar confusão taxonômica na organização da família e para a delimitação entre esses gêneros, sendo na maioria das vezes atribuída por meio de detalhes morfológicos de órgãos reprodutivos que comumente não podem ser visualizados em campo devido à sua ausência ou dificuldade de coleta, agravando a problemática de sua identificação (KUKACHKA, 1981).

Para a madeira, a técnica básica e mais tradicional é feita com base nas características anatômicas, podendo ser macroscópica ou microscópica, mas em muitas vezes são necessários profissionais treinados que estão ausentes em muitos momentos de uma fiscalização em campo. A caracterização macroscópica nem sempre é suficiente para uma identificação segura (BOTOSSO, 2011) e na microscópica, os principais problemas encontrados consistem no uso de bases de referência deficientes em abranger toda a variação existente dentro dos táxons ou na quantidade de espécies referenciadas (WHEELER; BAAS, 1998), muitas vezes sendo possível apenas a confirmação do gênero e em alguns casos apenas da família botânica (GASSON, 2011).

Outra característica que interfere na identificação científica de uma amostra de madeira no comércio, é a ausência de informações relacionadas à procedência das árvores, idade, posição de corte, uma vez que as estruturas anatômicas variam dentro e entre árvores de uma mesma espécie, e entre gêneros de uma mesma família botânica, além de sofrerem alteração em função do solo e características de crescimento da árvore (SOTELO MONTES et al., 2013; SOFFIATTI et al., 2016).

No que tange à família Sapotaceae os problemas de identificação estão presentes em campo, em herbário ou por consulta a xilotecas, chegando até ao nível genético. Analisando diferentes gêneros de Sapotaceae houve agrupamento de indivíduos de gêneros diferentes em um mesmo cluster, separação de indivíduos de mesmo gênero em ramos distintos e, dependendo do marcador, não há distinção entre as espécies de *Manilkara* (VIVAS et al., 2014). Um estudo sobre a sistemática e biogeografia do gênero *Manilkara* sugere a modificação taxonômica de tribos e sub-tribos da família Sapotaceae devido ao não monofiletismo identificado no estudo em diferentes níveis taxonômicos, sugerindo inclusive a exclusão de algumas espécies do gênero *Manilkara*, derivando um novo gênero (ARMSTRONG, 2010).

As técnicas não destrutivas de identificação de madeira apresentam peculiaridades e podem ser influenciadas pelas características das amostras, superfície de corte, tempo de armazenamento, tipo de equipamento, entre outros. Uma desvantagem é a necessidade de banco de dados com as informações coletadas nas mesmas condições de ensaio (umidade, plano de corte, comprimento de onda) e com toda a variabilidade existente entre e dentro das árvores, além da região de ocorrência natural.

A cor da madeira pode ser utilizada na caracterização de sua qualidade (VALVERDE; MOYA, 2014) e predição de suas propriedades e composição química (AMORIM et al., 2013; MOYA et al., 2012), sendo diferente entre as seções anatômicas (ATAYDE et al., 2011), variando com o solo e condições de crescimento (SOTELO MONTES et al., 2013; CISEROS et al., 2019), podendo ser alterada natural ou artificialmente (STANGERLIN et al., 2013; LUÍS et al., 2018). A utilização do espectro de reflectância para distinção de amostras aparece em estudos de Nisgoski et al. (2017), Vieira et al. (2019a), por exemplo, mas partindo de amostras cientificamente identificadas. Na literatura o uso da técnica para identificação de madeira com base em material desconhecido foi verificado apenas no trabalho de Santos (2018).

A espectroscopia no infravermelho próximo tem sido aplicada na indústria madeireira principalmente na predição de propriedades (TSUCHIKAWA; KOBORI, 2015), mas muito ainda deve ser feito para que a técnica seja implantada com grande precisão nas linhas de produção, uma vez que diferentes pré-tratamentos nos dados devem ser utilizados, além da minimização da influência da superfície, granulometria e umidade das amostras e tipo de equipamento utilizado (PASQUINI, 2018; HEIN et al., 2017). Estudos na identificação de espécies nativas brasileiras envolvem a distinção de madeiras semelhantes ao mogno (PASTORE et al. 2011; BERGO et al. 2016), amostras de espécies do gênero *Dalbergia*, o

qual está na lista de ameaçadas de extinção (SNELL et al., 2018) espécies amazônicas (SOARES et al., 2017), espécies comercializadas como “angelim” (MUÑIZ et al., 2016), entre outros, mas em todos os estudos as amostras já estão previamente identificadas. Com outra metodologia, madeiras popularmente chamadas de “tauari” foram identificadas por Santos (2018) através da técnica de infravermelho próximo usando como base modelos gerados com amostras de acervos científicos do Museu Paraense Emílio Goeldi e da Embrapa Amazônia Oriental, descrevendo problemas e potencial de utilização.

No caso do carvão, as características anatômicas qualitativas se mantêm após o processo de carbonização, com alterações quantitativas resultantes dos parâmetros e da espécie utilizada (MUÑIZ et al., 2016; VIEIRA et al., 2019b), mas ainda podem ser aplicadas na identificação das amostras (GONÇALVES et al., 2016). O infravermelho próximo com diferentes pré-tratamentos e metodologias mostrou potencial na discriminação do carvão produzido com espécies nativas e plantadas, em diferentes temperaturas e tempos de carbonização, às vezes distinguindo gêneros ou espécies, e em outras apenas o processo ou a família botânica (DAVRIEUX et al., 2010; MONTEIRO et al., 2010; NISGOSKI et al., 2015; MUÑIZ et al., 2016; RAMALHO et al., 2017; VIEIRA et al., 2019b) mas em todas as análises o carvão foi produzido a partir de amostras conhecidas.

Este capítulo tem por objetivo comparar as técnicas de identificação anatômica e espectroscopia VIS/NIR na distinção de amostras de madeira e carvão popularmente denominados de maçaranduba/maparajuba.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras para o estudo estão descritas no Capítulo 1, item 1.2, página 24. Os espectros na região do visível e em infravermelho próximo foram coletados de acordo com a metodologia descrita nos Capítulos 2 (item 2.2, página 61) e 3 (item 3.2, página 79), respectivamente. Também foram utilizadas amostras da xiloteca (Tabela 4.1) as quais não foram lixadas nem passaram por nenhum preparo especial.

TABELA 4.1- RELAÇÃO DE AMOSTRAS DA XILOTECA E ANTRACOTECA DA UFPR UTILIZADAS NESTE ESTUDO

| Amostra | Dados do acervo de origem |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <i>Achras zapota</i> | Ministério da Agricultura (xiloteca) |
| <i>Manilkara bidentata</i> I | |
| <i>Manilkara bidentata</i> II | |
| <i>Manilkara bidentata</i> III | |
| <i>Manilkara bidentata</i> IV | |
| <i>Manilkara huberi</i> | |
| <i>Manilkara</i> sp. I | |
| <i>Manilkara</i> sp. II | |
| <i>Mimusops</i> sp. | CT Santarém (xiloteca) |
| <i>Pouteria</i> sp. IV (abiurana cutié) | |
| <i>Manilkara</i> sp. | |
| <i>Manilkara surinamensis</i> | |
| <i>Mimusops huberi</i> | |
| <i>Pouteria durlandii</i> | |
| <i>Pouteria engleri</i> | |
| <i>Pouteria gardneriana</i> | |
| <i>Pouteria guianensis</i> I | |
| <i>Pouteria guianensis</i> II | |
| <i>Pouteria guianensis</i> III | |
| <i>Pouteria lasiocarpa</i> | |
| <i>Pouteria salicifolia</i> | |
| <i>Pouteria sapota</i> | |
| <i>Pouteria</i> sp. I | |
| <i>Pouteria</i> sp. II | |
| <i>Pouteria</i> sp. III | |
| <i>Pouteria surinamensis</i> | Laranjeiras do Sul Mato Grosso (antracoteca) |
| <i>Manilkara</i> sp. | |
| <i>Micropholis guianensis</i> | |
| <i>Pouteria macrophylla</i> I | |
| <i>Pouteria macrophylla</i> II | |

FONTE: A autora (2020).

Para a identificação anatômica, a descrição das amostras foi comparada com a literatura especializada e o acervo do Laboratório de Anatomia da Madeira, da UFPR. Também foi utilizada a chave online de identificação de madeiras do *InsideWood* (2004). Para a discriminação e identificação com base no espectro visível (madeira) e infravermelho

(madeira e carvão), foram construídos modelos base utilizando amostras da xiloteca e antracoteca do Laboratório de Anatomia da Madeira, da UFPR.

Para o espectro de reflectância no visível, foi feita uma Análise Linear Discriminante (LDA) pelo método de Mahalanobis, assumindo igual probabilidade de prioridade, com os dados originais e avaliada a matriz de confusão gerada. Posteriormente este modelo foi usado para classificação das amostras da RESEX avaliando-se em separado a média do espectro da amostra, só a superfície transversal, só a superfície radial e só a tangencial para verificar se havia diferença na identificação das amostras em função da posição avaliada.

Para os espectros de infravermelho próximo da madeira e carvão, o procedimento foi o mesmo, mas com os dados em segunda derivada de Savitzky-Golay, os quais mostraram maior distinção de amostras no capítulo 3 para madeira e em MSC para o carvão. A Análise Linear Discriminante (LDA) também pelo método de Mahalanobis, assumindo igual probabilidade foi performada para a avaliação de sua matriz de confusão e posterior modelo para classificação das amostras da RESEX considerando o espectro inteiro e diferentes segmentos sem a influência de água.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Anatomia da madeira

Em função das características anatômicas das amostras e dados da chave de identificação do *InsideWood* (2004), as amostras foram identificadas de acordo com a Tabela 4.2.

TABELA 4.2 – IDENTIFICAÇÃO ANATÔMICA DAS AMOSTRAS

| Amostra | Nome popular | Nome científico |
|----------------|---------------------|--------------------------|
| 1477 | maçaranduba | <i>Manilkara</i> sp. I |
| 1064 | maparajuba | <i>Manilkara</i> sp. II |
| 1386 | maçaranduba | <i>Manilkara</i> sp. III |
| 161 | maparajuba | <i>Manilkara</i> sp. IV |
| NI | - | <i>Manilkara</i> sp. V |

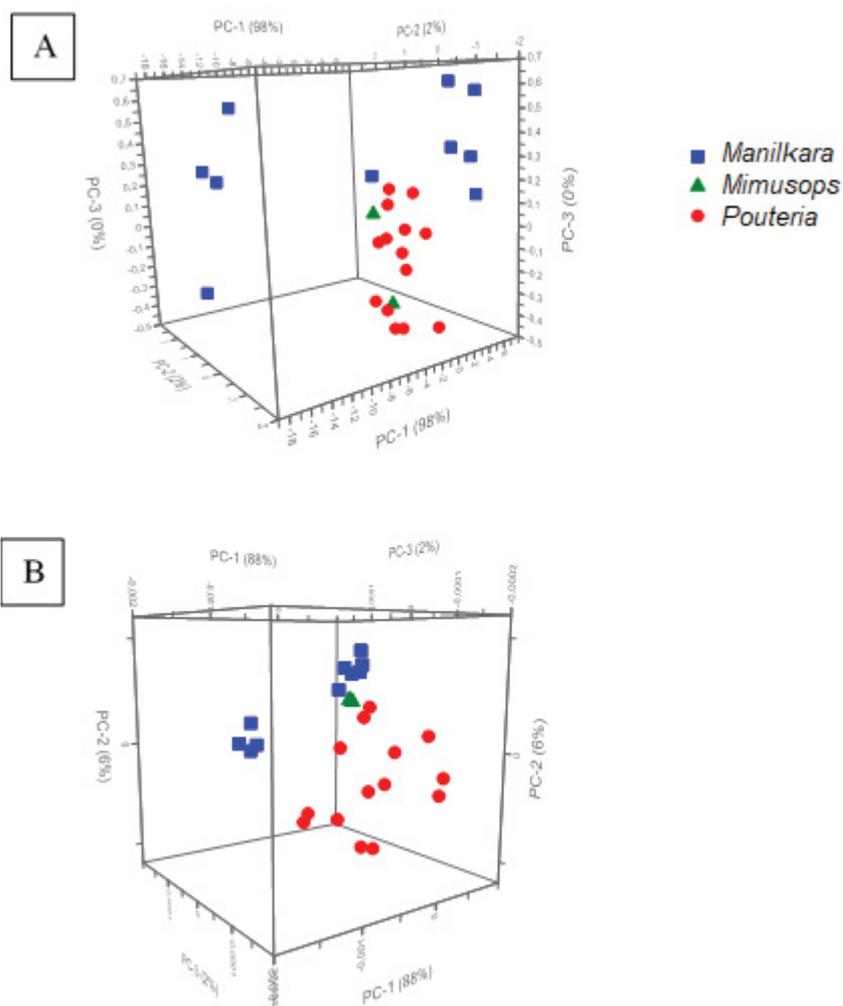
FONTE: A autora (2020).

4.3.2 Espectroscopia no visível

A PCA das amostras da xiloteca mostra a semelhança de coloração entre os gêneros analisados (Figura 4.1) o que é confirmado pela matriz de confusão (Tabela 4.3) da Análise Discriminante das Amostras.

A confusão entre *Manilkara* e *Mimusops* é explicável pela semelhança anatômica de muitos indivíduos pertencentes a estes gêneros, semelhança esta que levou a inclusão de algumas espécies de *Mimusops* para o gênero *Manilkara* (KUKACHKA, 1981).

FIGURA 4.1 – GRÁFICO DE SCORES DO PCA DO ESPECTRO DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL DAS AMOSTRAS DA XILOTECA POR GÊNERO SEM TRATAMENTO



FONTE: A autora (2020).

TABELA 4.3 – MATRIZ DE CONFUSÃO DO LDA DO ESPECTRO VISÍVEL DE SAPOTACEAE; ACURÁCIA DE 81,33%

| | <i>Manilkara</i> | <i>Mimusops</i> | <i>Pouteria</i> |
|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| <i>Manilkara</i> | 19 | 1 | 1 |
| <i>Mimusops</i> | 6 | 6 | 2 |
| <i>Pouteria</i> | 3 | 1 | 36 |

FONTE: A autora (2020).

Com o modelo construído, as amostras da RESEX foram utilizadas para classificação externa, sendo os resultados detalhados na tabela 4.4, avaliando-se a influência do local de origem das amostras, bem como a superfície avaliada.

TABELA 4.4 – IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DA RESEX PELO LDA COM O ESPECTRO VISÍVEL. MÉDIAS DOS DADOS POR ÁRVORE SEGUIDA POR MÉDIA DOS DADOS POR PLANOS

| Amostra | Espectro | <i>Manilkara</i> | <i>Mimusops</i> | <i>Pouteria</i> |
|---------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| Maçaranduba 1477 | Média | 9 | 1 | 0 |
| | X | 9 | 0 | 1 |
| | R | 3 | 7 | 0 |
| | T | 10 | 0 | 0 |
| Maparajuba 1064 | Média | 5 | 0 | 5 |
| | X | 7 | 0 | 3 |
| | R | 1 | 0 | 9 |
| | T | 4 | 0 | 6 |
| Maçaranduba 1386 | Média | 8 | 0 | 2 |
| | X | 5 | 0 | 5 |
| | R | 7 | 0 | 3 |
| | T | 7 | 3 | 0 |
| Maparajuba 161 | Média | 10 | 0 | 0 |
| | X | 10 | 0 | 0 |
| | R | 8 | 0 | 2 |
| | T | 9 | 0 | 1 |
| NI | Média | 0 | 0 | 5 |
| | X | 1 | 0 | 4 |
| | R | 0 | 0 | 5 |
| | T | 0 | 0 | 5 |

FONTE: A autora (2020).

Para a média dos planos, Maçaranduba 1477, Maçaranduba 1386 e Maparajuba 161 são classificados como gênero *Manilkara*, enquanto NI como gênero *Pouteria* e uma indefinição é apresentada para Maparajuba 1064 em que metade das amostras são classificadas como gênero *Manilkara* e outra metade como *Pouteria*.

É possível notar uma influência no plano de corte para a classificação utilizando-se de dados da espectroscopia no visível. Maparajuba 161 e NI são as únicas amostras em que há concordância de classificação para todos os planos (maior número de amostras classificadas por plano em determinado gênero), em que a primeira é classificada como *Manilkara* e a última como *Pouteria*. Em Maçaranduba 1477 tem-se a classificação como *Manilkara* para os planos transversal e tangencial e como *Pouteria* para o radial; para Maparajuba 1064 a classificação como *Manilkara* dá-se apenas para o plano transversal, enquanto tangencial e radial indicam *Pouteria*; Maçaranduba 1386 tem classificação como *Manilkara* para radial e tangencial e indefinição no transversal (mesmo número de amostras classificadas como *Manilkara* e como *Pouteria*).

Além das diferenças de organização e aparência dos caracteres anatômicos de uma seção para outra, portanto modificando também o comportamento da luz frente a essas superfícies, outra diferença significativa é o fato de que as amostras utilizadas para construir o modelo são provenientes de xiloteca e estão armazenadas há décadas, o que significa que

muitos processos de envelhecimento deste material estão em ação. Para esta análise o mais significativo é a oxidação da superfície da madeira, processo químico que irá influenciar em sua tonalidade e coloração.

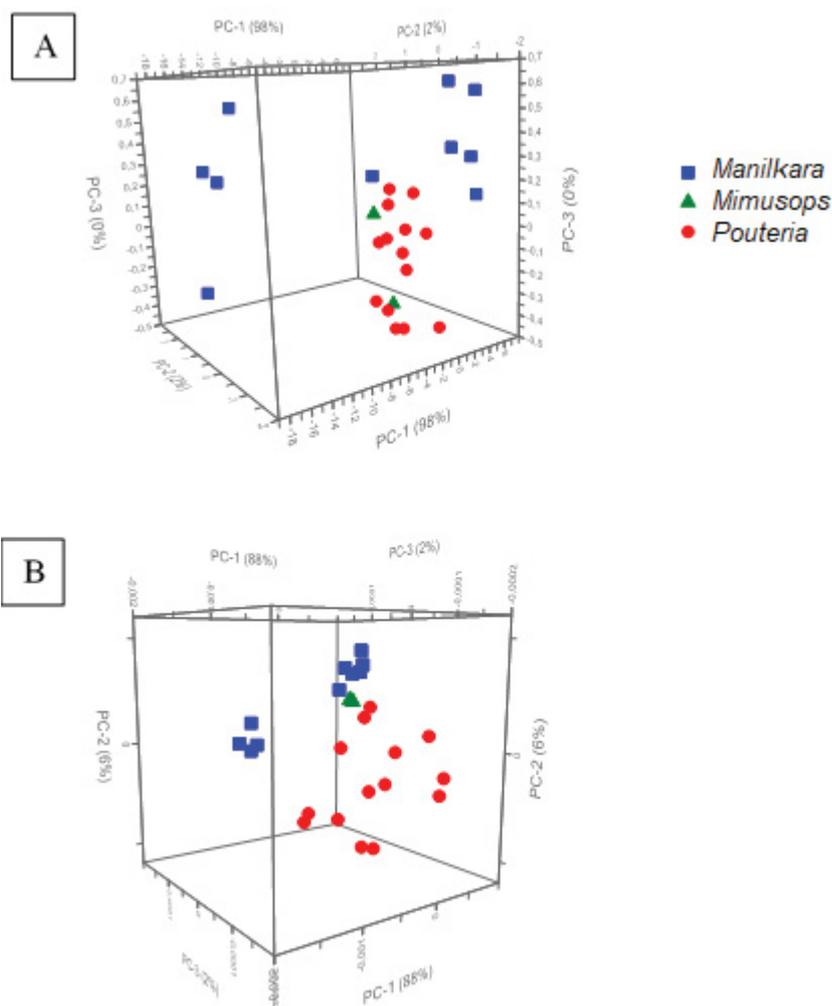
Portanto, mesmo apresentando um alto valor de acurácia, o modelo performado não apresentou eficácia para a correta classificação de todas as amostras analisadas. Essa problemática também é relatada por Santos (2018) ao analisar diferentes espécies de “Tauari” também utilizando PCA-LDA, apresentando problemáticas tanto com espectro original como dados tratados com segunda derivada, ocorrendo identificação incorreta de diversas amostras quando utilizado o modelo das seções laterais já que o uso do modelo a partir da seção transversal mostrou-se ineficiente.

4.3.3 Espectroscopia no infravermelho próximo

4.3.3.1 Madeira

Ao realizar testes com o material de xiloteca há uma tendência de agrupamento por gênero (Figura 4.2), tendência presente tanto com os dados originais como após tratamento com segunda derivada e 21 pontos de *smoothing*. Com os espectros originais (Figura 4.2A), mesmo ocorrendo tendência de agrupamento das amostras, os dados apresentam-se mais dispersos entre si, ocorrendo inclusive a separação entre os representantes de *Mimusops* e entre os representantes de *Manilkara*, o qual possuem tendência a formação de dois agrupamentos. Essa tendência é acentuada após a aplicação de segunda derivada, em que há uma menor dispersão dos dados exceto para *Pouteria*. Em ambos os agrupamentos de *Manilkara* há indivíduos da mesma espécie além de indivíduos de espécies distintas, indicando que este comportamento deve possuir maior influência da procedência, idade e/ou local da árvore de onde foi retirada a amostra. Com os dados em segunda derivada (Figura 4.2B), há sobreposição dos representantes de *Mimusops* e sua aproximação com *Manilkara* explica-se por pertencerem à mesma família, além do fato de que algumas espécies de *Mimusops* foram incorporadas ao gênero *Manilkara*, indicando grandes semelhanças entre os gêneros.

FIGURA 4.2 – GRÁFICO DE SCORES DA PCA DAS AMOSTRAS DA XILOTECA COM O ESPECTRO NIR MÉDIO ORIGINAL (A) E EM SEGUNDA DERIVADA (B)



FONTE: A autora (2020).

A Tabela 4.5 apresenta a matriz de confusão da média dos planos seguida pelas matrizes de confusão de cada plano em conjunto com o percentual de acurácia de cada LDA performada usando segunda derivada de Savitzky-Golay com 21 pontos de smoothing e Mahalanobis assumindo igual prioridade.

TABELA 4.5 – MATRIZ DE CONFUSÃO DO LDA COM O ESPECTRO NIR EM SEGUNDA DERIVADA (continua)

| \bar{M} (82,67%) | <i>Manilkara</i> | <i>Mimusops</i> | <i>Pouteria</i> |
|--------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| <i>Manilkara</i> | 29 | 5 | 7 |
| <i>Mimusops</i> | 0 | 1 | 0 |
| <i>Pouteria</i> | 1 | 0 | 32 |
| X (86%) | | | |
| <i>Manilkara</i> | 54 | 1 | 11 |
| <i>Mimusops</i> | 0 | 9 | 1 |

TABELA 4.5 – MATRIZ DE CONFUSÃO DO LDA COM O ESPECTRO NIR EM SEGUNDA DERIVADA (continuação)

| | | | |
|------------------|----|----|----|
| <i>Pouteria</i> | 6 | 2 | 66 |
| R (90,6%) | | | |
| <i>Manilkara</i> | 60 | 12 | 3 |
| <i>Mimusops</i> | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pouteria</i> | 0 | 0 | 75 |
| T (94,67%) | | | |
| <i>Manilkara</i> | 53 | 2 | 3 |
| <i>Mimusops</i> | 3 | 10 | 0 |
| <i>Pouteria</i> | 0 | 0 | 75 |

FONTE: A autora (2020)

LEGENDA: Valores entre parênteses indicam a acurácia do modelo.

Usando o modelo de LDA previamente construído, a classificação das amostras da RESEX deu-se de acordo com a Tabela 4.6. Segundo a classificação anterior, Maçaranduba 1477 e NI são consideradas como amostras do gênero *Pouteria* sp., enquanto as demais são do gênero *Manilkara*, não ocorrendo influência no plano de corte para a classificação.

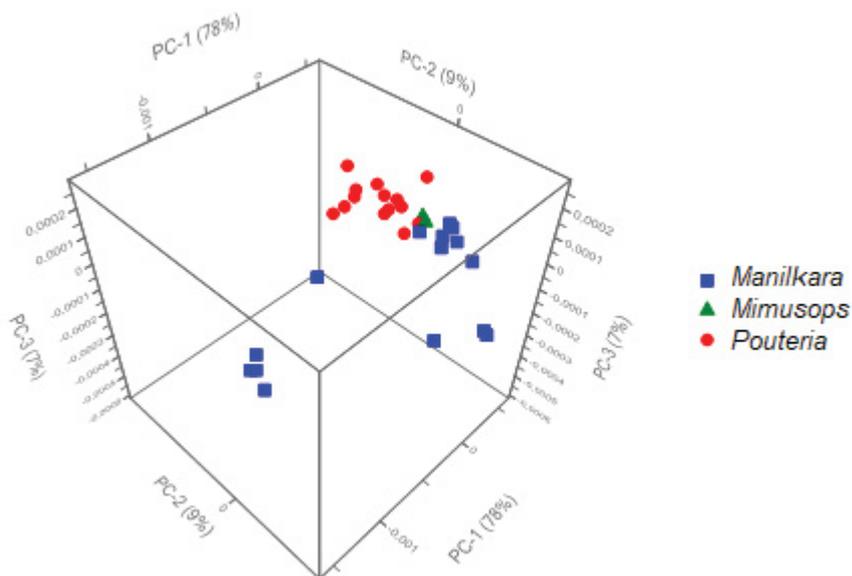
Ao analisar em conjunto as médias das amostras provenientes da RESEX e amostras da xiloteca (Figura 4.3) é possível observar que a tendência de separação por gênero é mantida. Contudo, há proximidade das amostras de *Mimusops* com *Pouteria* e um dos grupos de *Manilkara*.

TABELA 4.6 – CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DA RESEX COM O ESPECTRO NIR MÉDIO EM SEGUNDA DERIVADA DAS AMOSTRAS SEGUIDO DAS MÉDIAS DOS PLANOS

| | <i>Manilkara</i> | <i>Mimusops</i> | <i>Pouteria</i> | |
|------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| Maçaranduba 1477 | <i>Manilkara</i> sp. I | 0 | 0 | 10 |
| | X | 0 | 0 | 10 |
| | R | 0 | 0 | 10 |
| | T | 0 | 0 | 10 |
| Maparajuba 1064 | <i>Manilkara</i> sp. II | 10 | 0 | 0 |
| | X | 10 | 0 | 0 |
| | R | 10 | 0 | 0 |
| | T | 10 | 0 | 0 |
| Maçaranduba 1386 | <i>Manilkara</i> sp. III | 10 | 0 | 0 |
| | X | 10 | 0 | 0 |
| | R | 10 | 0 | 0 |
| | T | 10 | 0 | 0 |
| Maparajuba 161 | <i>Manilkara</i> sp. IV | 10 | 0 | 0 |
| | X | 10 | 0 | 0 |
| | R | 10 | 0 | 0 |
| | T | 10 | 0 | 0 |
| NI | <i>Manilkara</i> sp. V | 0 | 0 | 5 |
| | X | 0 | 0 | 5 |
| | R | 0 | 0 | 5 |
| | T | 0 | 0 | 5 |

FONTE: A autora (2020).

FIGURA 4.3 – GRÁFICO DE SCORES DO PCA COM ESPECTROS NIR EM SEGUNDA DERIVADA DAS AMOSTRAS DA RESEX E DA XILOTECA



FONTE: A autora (2020).

As amostras da RESEX encontram-se dispersas e, exceto por Maparajuba 1064, distante dos grupos de *Manilkara* provenientes da xiloteca, o que indica que houve uma influência do teor de umidade em detrimento do gênero já que as amostras da RESEX foram analisadas com cerca de 6 meses após o corte, enquanto as amostras da xiloteca encontram-se armazenadas entre duas e três décadas. Há também agrupamento entre Maçaranduba 1386 e Maparajuba 161, indicando neste caso uma influência quanto à localidade de procedência. O mesmo não pode ser afirmado para Maçaranduba 1477 e Maparajuba 1064, em que o primeiro se encontra afastado de todas as demais amostras.

Como visto no Capítulo 3, a retirada de bandas associadas à água tem influência nos resultados das análises de dados de NIR dos indivíduos estudados. Portanto, foram realizadas LDA com os parâmetros supracitados das bandas de 7500 a 4000 cm^{-1} (acurácia de 82,67% para média das amostras) e de 6900 a 4000 cm^{-1} (acurácia de 92% para média das amostras). As classificações resultantes são observadas nas Tabelas 4.7 e mostram-se diferentes para Maçaranduba 1477 e NI em relação àquela com a presença de bandas associadas à água.

Nesta última classificação todos os indivíduos foram considerados como pertencentes ao gênero *Manilkara* e não houve influência do plano de corte, já que todos indicaram o mesmo resultado. Reduzindo um pouco mais do espectro analisado (faixa 6900 a 4000 cm^{-1}), o mesmo resultado foi mantido.

TABELA 4.7 – CLASSIFICAÇÃO LDA USANDO O ESPECTRO NIR EM SEGUNDA DERIVADA NA FAIXA DE 7500 A 4000 CM⁻¹

| Amostra | Espectro | Manilkara | Mimusops | Pouteria |
|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Maçaranduba 1477 | Média | 10 | 0 | 0 |
| | X | 10 | 0 | 0 |
| | R | 10 | 0 | 0 |
| | T | 10 | 0 | 0 |
| Maparajuba 1064 | Média | 10 | 0 | 0 |
| | X | 10 | 0 | 0 |
| | R | 10 | 0 | 0 |
| | T | 10 | 0 | 0 |
| Maçaranduba 1386 | Média | 10 | 0 | 0 |
| | X | 10 | 0 | 0 |
| | R | 10 | 0 | 0 |
| | T | 10 | 0 | 0 |
| Maparajuba 161 | Média | 10 | 0 | 0 |
| | X | 10 | 0 | 0 |
| | R | 10 | 0 | 0 |
| | T | 10 | 0 | 0 |
| NI | Média | 5 | 0 | 0 |
| | X | 5 | 0 | 0 |
| | R | 5 | 0 | 0 |
| | T | 5 | 0 | 0 |

FONTE: A autora (2020)

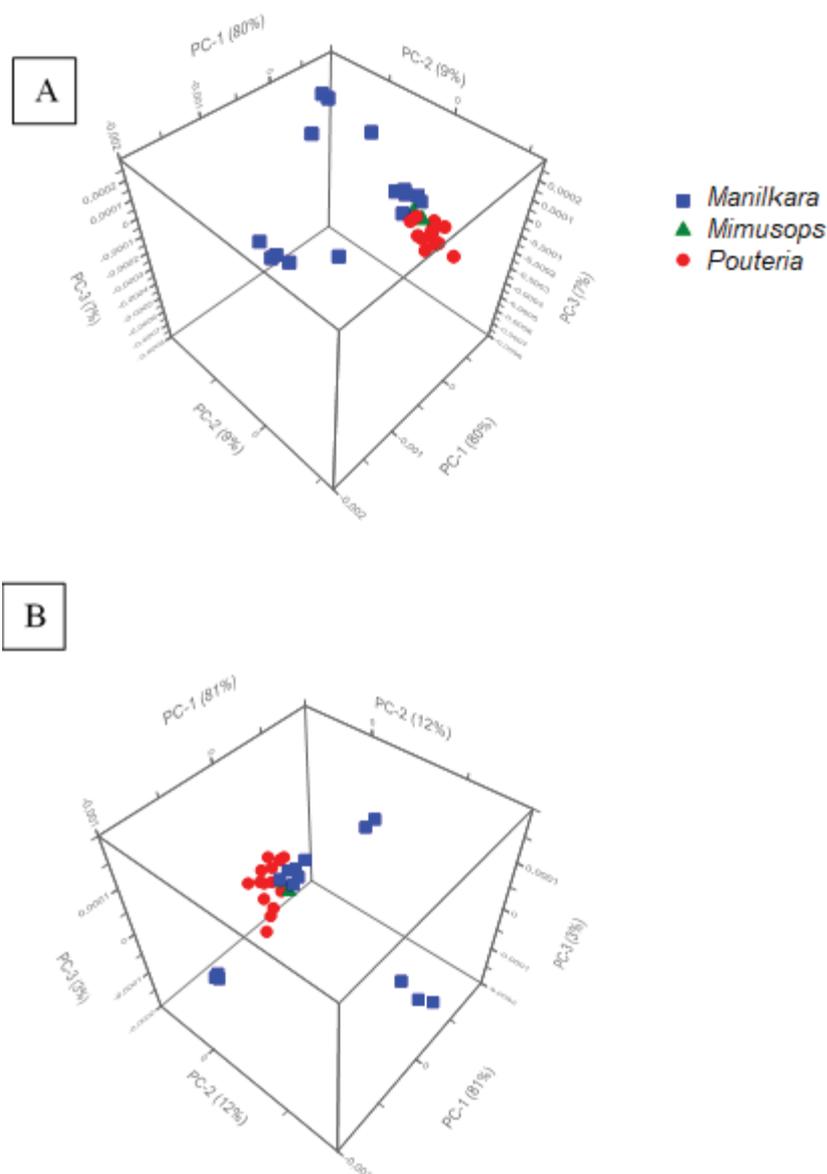
Analisando os gráficos de scores de PCA (Figura 4.4) usando amostras da xiloteca e RESEX em segunda derivada usando diferentes partes do espectro, observa-se que as amostras provenientes da RESEX não se agrupam com aquelas da xiloteca, as quais se agrupam sem distinção quanto ao gênero da amostra. As amostras da RESEX encontram-se dispersas em três grupos.

Neste estudo com sapotáceas é notável a influência do segmento espectral analisado já que a análise do espectro total acarretou a incorreta classificação de dois indivíduos, o que não ocorreu ao reduzir a faixa espectral analisada.

Santos (2018) também testou diferentes segmentos espectrais para a construção de modelos de classificação usando material proveniente de xiloteca, ocorrendo variação da classificação de acordo com tratamento ou não dos dados, além do segmento espectral e seção analisada, obtendo diferentes classificações de acordo com o plano e faixa espectral analisada. Horikawa et al. (2015) analisaram duas espécies de *Pinus* utilizando material de xiloteca para construir modelos de classificação para peças arqueológicas e também constataram a influência da faixa espectral analisada na eficiência e acurácia do modelo, obtendo os melhores resultados na faixa espectral entre 7300 cm⁻¹ e 6050 cm⁻¹. Hwang et al (2016) testaram diferentes modelos e tratamentos dos dados espectrais para a identificação de espécies de *Pinus* de localidades diferentes e não identificaram grandes diferenças para a

acurácia entre pré-tratamentos, mas afirmam que as faixas espectrais que possuem influência no modelo discriminante construído são entre 7300 cm^{-1} e 7700 cm^{-1} e abaixo de 6000 cm^{-1} .

FIGURA 4.4 – GRÁFICO DE *SCORES* DO PCA COM ESPECTROS NIR EM SEGUNDA DERIVADA DAS AMOSTRAS DA XILOTECA E RESEX OBTIDOS A PARTIR DE DIFERENTES FAIXAS DO ESPECTRO. A: 7500 cm^{-1} A 4000 cm^{-1} E B: 6900 cm^{-1} A 4000 cm^{-1}



FONTE: A autora (2020).

As mudanças na madeira ocorrem desde seu corte em campo e dão-se de forma contínua durante seu uso e armazenamento. O envelhecimento da madeira é um processo de degradação que pode ser entendido como lenta e de baixa cinética com termo-oxidação de seus componentes quando expostos ao ar (SANDAK; SANDAK; RIGGIO, 2016). Segundo Beyer et al. (2018), as primeiras mudanças ocorrem na volatilização de extrativos e

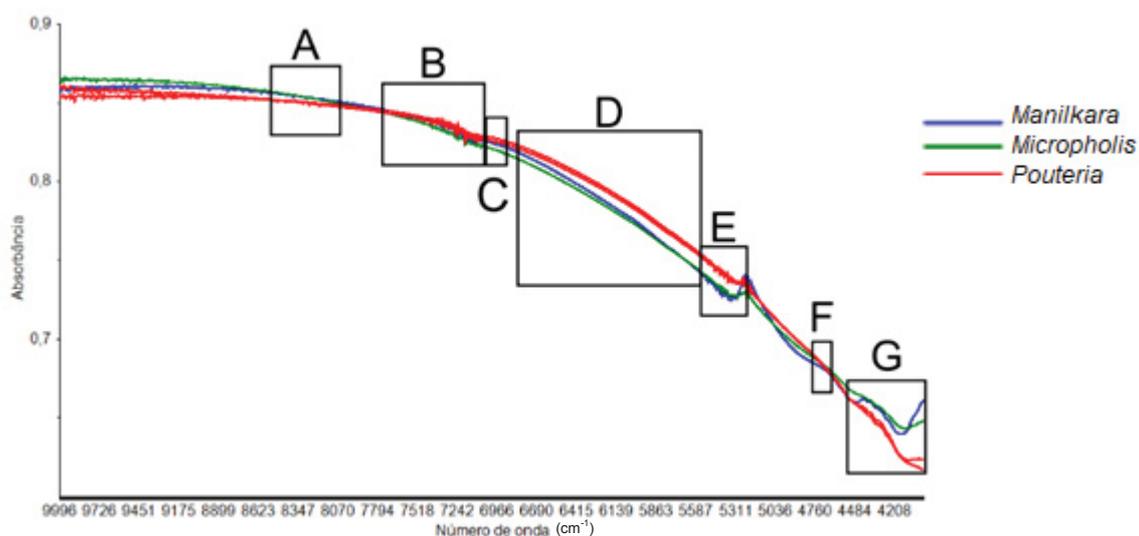
degradação da hemicelulose e de perda de parte da porção amorfa da celulose. Ainda segundo esses autores, em um processo mais lento, a reticulação (*cross-linking*) oxidativa da lignina resulta em um aumento deste componente seguido de uma diminuição por desintegração dessa substância; os produtos dos processos de oxidação da hemicelulose e lignina podem resultar em um aumento do percentual dos extrativos totais da madeira em função do tempo. Esses processos químicos também irão influenciar na capacidade de absorção de água pela madeira (HORIYAMA et al., 2015).

Sabendo-se que um fator determinante é o percentual de umidade das amostras, as amostras da xiloteca encontram-se em umidade de equilíbrio enquanto as amostras provenientes da RESEX foram cortadas há um intervalo de tempo muito menor em comparação com as da xiloteca, apresentando um percentual de umidade maior, sendo um grande fator de influência na realização de leituras em NIR.

4.3.3.2 Carvão

Quando analisadas isoladamente e após o pré-tratamento com MSC, as amostras da antracoteca apresentaram o comportamento espectral a seguir (Figura 4.5).

FIGURA 4.5 – ESPECTRO NIR MÉDIO DOS CARVÕES DA ANTRACOTECA APÓS TRATAMENTO COM MSC



FONTE: A autora (2020).

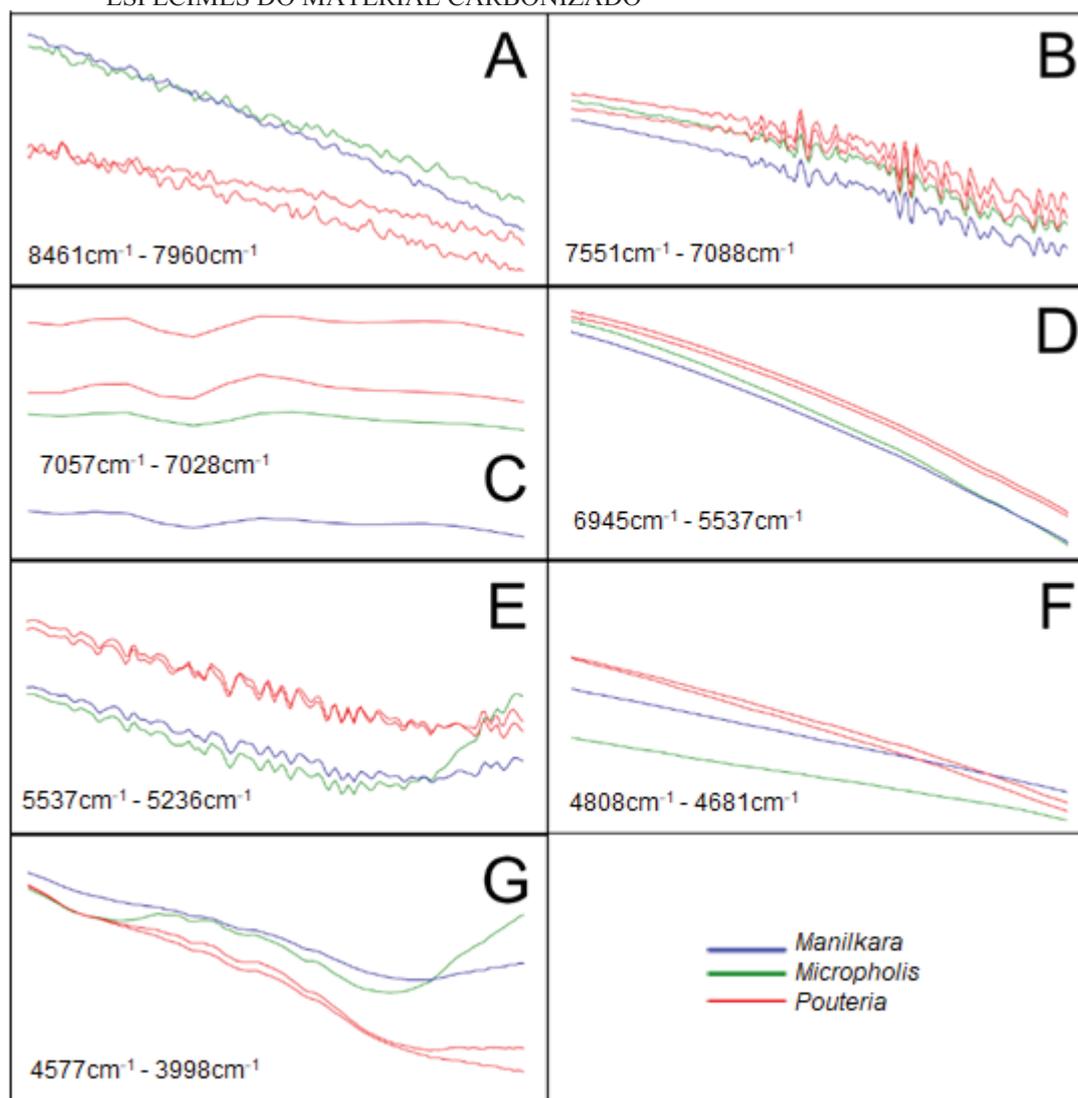
O espectro apresentado possui pouca ou nenhuma absorção na região do infravermelho próximo, comportamento relatado em diversos estudos (DAVRIEUX et al.,

2010; MUÑIZ et al., 2013) e que está em concordância com o processo de degradação de diversos polímeros que ocorre durante a carbonização (LABBÉ et al., 2006).

Os espécimes apresentaram comportamento espectral muito semelhante, portanto, algumas bandas foram destacadas como prováveis regiões de diferenciação e podem ser observadas na Figura 4.6. De acordo com Schwanninger, Rodrigues e Fackler (2011), as bandas em destaque correspondem a: A – todos os compostos; B – Lignina, celulose, extrativos e hemicelulose ; C – Celulose, hemicelulose e lignina; D – Celulose e hemicelulose; E – carboidratos e todos os compostos ; F – celulose e lignina e G – todos os compostos.

Micropholis é o gênero que apresenta maior distinção no comportamento espectral (segmentos E e G), enquanto *Manilkara* apresenta leve distinção em relação à intensidade de absorção. Exceto pelo segmento A, os dois indivíduos de *Pouteria* apresentam grande semelhança espectral entre si, comportamento esperado pelo fato de pertencerem ao mesmo gênero.

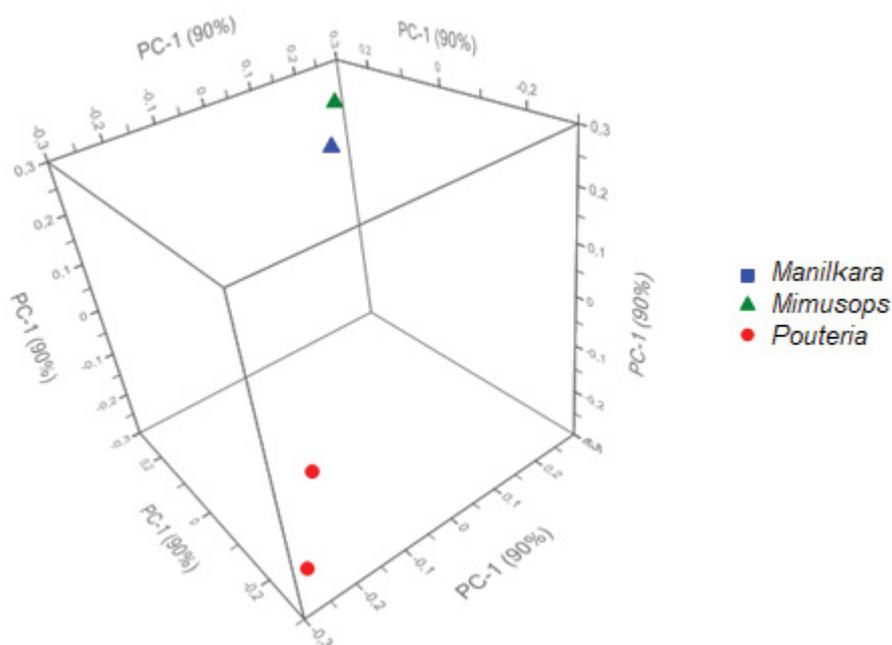
FIGURA 4.6 – SEGMENTOS ESPECTRAIS COM POTENCIAL PARA DIFERENCIAÇÃO DOS ESPÉCIMES DO MATERIAL CARBONIZADO



FONTE: A autora (2020).

Quando analisados os scores na PCA (Figura 4.7), há separação de *Pouteria* em relação aos demais gêneros, enquanto *Micropholis* e *Manilkara* apresentam uma tendência de agrupamento.

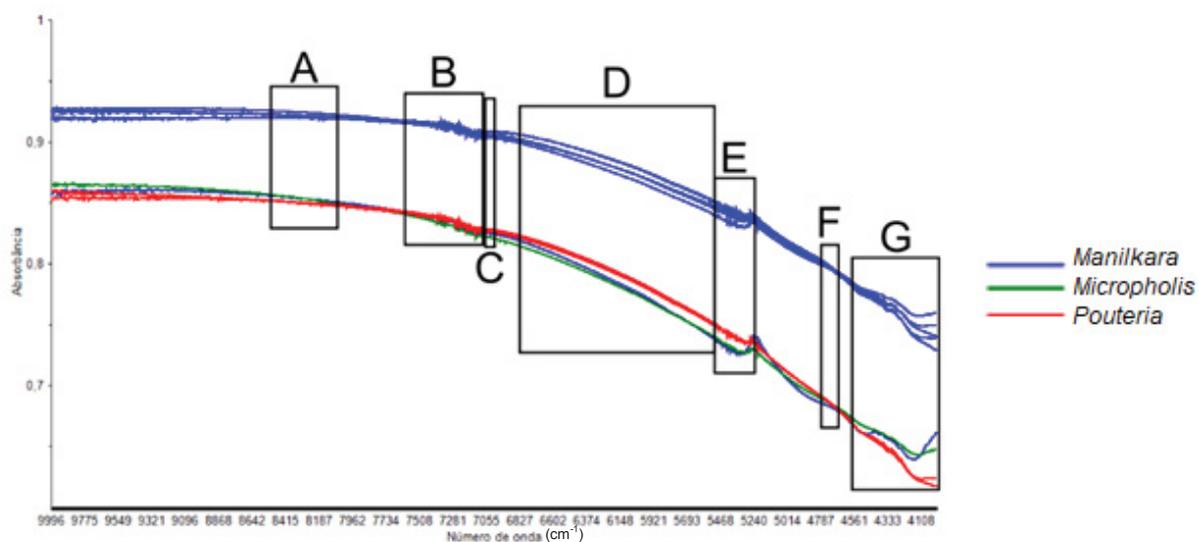
FIGURA 4.7 – GRÁFICO DE SCORES DO PCA COM ESPECTROS NIR MÉDIOS APÓS MSC COM DADOS DE INDIVÍDUOS DA ANTRACOTECA



FONTE: A autora (2020).

Os dados da antracoteca foram analisados em conjunto com o material proveniente da RESEX e o resultado é apresentado na Figura 4.8.

FIGURA 4.8 – ESPECTRO NIR MÉDIO DAS AMOSTRAS DE CARVÃO PROVENIENTES DE MATERIAL DA RESEX E ANTRACOTECA PRÉ-TRATADOS COM MSC

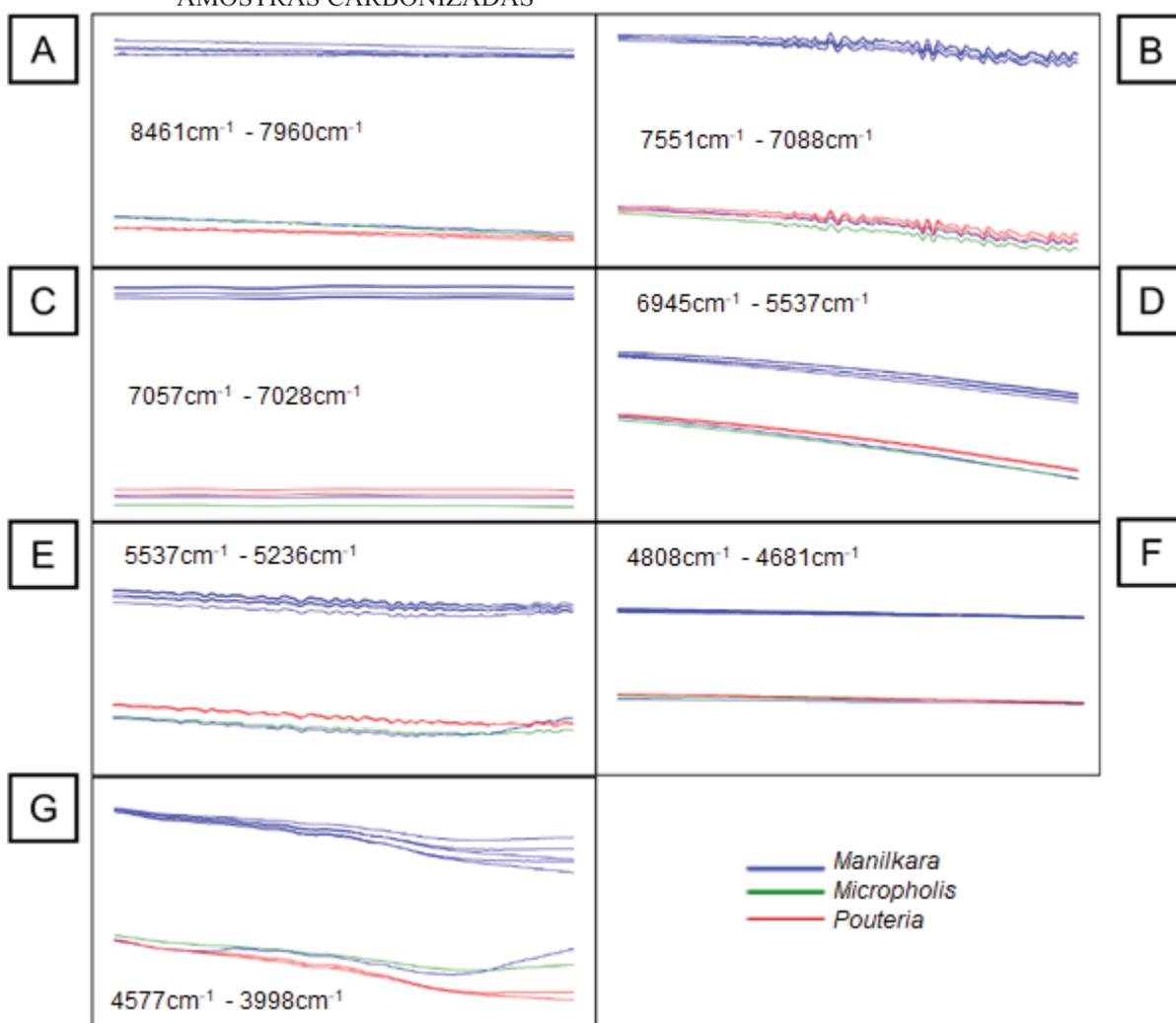


FONTE: A autora (2020).

As amostras da antracoteca se encontram na parte inferior do gráfico (feixe colorido), enquanto as amostras da RESEX se encontram na parte superior (feixe azul). Em uma primeira análise há, portanto, clara distinção entre as amostras da antracoteca e as amostras de

indivíduos provenientes da RESEX. Os espectros obtidos se comportam de maneira semelhante, portanto, algumas bandas foram isoladas para analisar seu potencial para a distinção quanto ao gênero (Figura 4.9).

FIGURA 4.9 – SEGMENTOS ESPECTRAIS COM POTENCIAL PARA DISTINÇÃO POR GÊNERO DAS AMOSTRAS CARBONIZADAS



FONTE: A autora (2020).

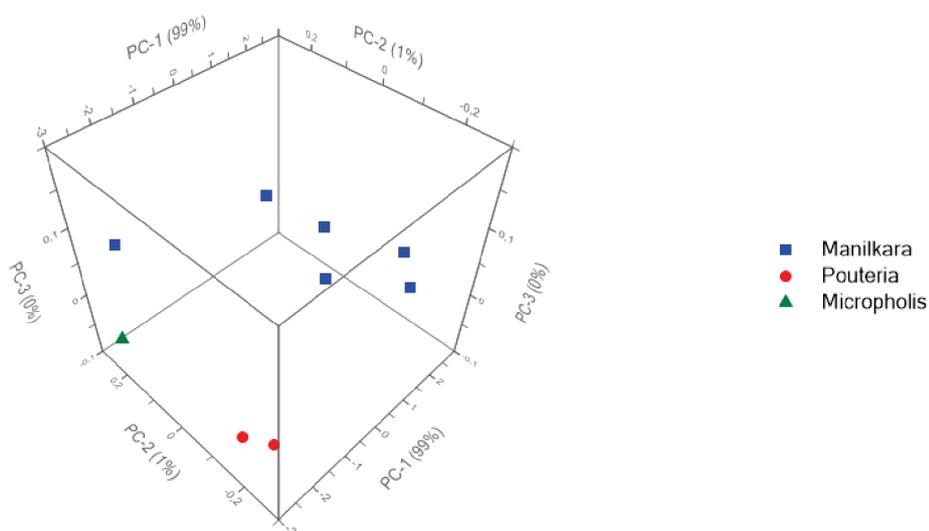
De acordo com Schwanninger, Rodrigues e Fackler (2011), as bandas em destaque correspondem a: A – todos os compostos; B – Lignina, celulose, extrativos e hemicelulose ; C – Celulose, hemicelulose e lignina; D – Celulose e hemicelulose; E – carboidratos e todos os compostos ; F – celulose e lignina e G – todos os compostos.

Os espectros obtidos se comportam de maneira semelhante em todos os segmentos analisados, havendo pequenas alterações para *Manilkara* sp. proveniente da antracoteca (bandas E e G), além daquelas em decorrência da intensidade de absorção. Resultado distinto do relatado por Labbé et al. (2006) ao estudar carvão de diferentes espécies de maple e uma

espécie de carvalho, obtendo espectros distintos para espécies do mesmo gênero (*Acer*); contudo, Vieira et al (2019b) também obteve espectros originais semelhantes para indivíduos da mesma família porém de gêneros distintos, conseguindo maior diferenciação com o uso de segunda derivada, o que não foi efetivo no carvão proveniente de *Manilkara* deste estudo.

Em uma análise dos scores da PCA realizada (Figura 4.10), há separação dos diferentes gêneros, ocorrendo também separação quanto à procedência (RESEX versus antracoteca).

FIGURA 4.10 – GRÁFICO DE SCORES RESULTANTES DA PCA COM ESPECTRO NIR MÉDIO POR GÊNERO TRATADOS COM MSC DA RESEX E ANTRACOTECA



FONTE: A autora (2020).

Uma Análise Linear Discriminante foi realizada e a matriz de confusão é apresentada na Tabela 4.8, obtida pela média dos planos e por plano.

TABELA 4.8 – MATRIZ DE CONFUSÃO DA MÉDIA DOS PLANOS E DOS PLANOS COM ACURÁCIA DE CADA MODELO

| <i>M</i> (80,56%) | <i>Manilkara</i> | <i>Micropholis</i> | <i>Pouteria</i> |
|--------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| <i>Manilkara</i> | 7 | 0 | 1 |
| <i>Micropholis</i> | 2 | 6 | 1 |
| <i>Pouteria</i> | 0 | 3 | 16 |
| X (91,67%) | | | |
| <i>Manilkara</i> | 3 | 0 | 0 |
| <i>Micropholis</i> | 0 | 2 | 0 |
| <i>Pouteria</i> | 0 | 1 | 6 |
| R (83,33%) | | | |
| <i>Manilkara</i> | 3 | 0 | 0 |
| <i>Micropholis</i> | 0 | 1 | 0 |
| <i>Pouteria</i> | 0 | 2 | 6 |
| T (83,33%) | | | |
| <i>Manilkara</i> | 2 | 0 | 0 |
| <i>Micropholis</i> | 0 | 2 | 0 |
| <i>Pouteria</i> | 1 | 1 | 6 |

FONTE: A autora (2020)

A classificação das amostras da RESEX, utilizando os modelos anteriormente construídos pode ser observada na Tabela 4.9.

TABELA 4.9 – CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DA RESEX A PARTIR DA LDA

| | <i>Manilkara</i> | <i>Micropholis</i> | <i>Pouteria</i> |
|------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| Maçaranduba 1477 | 0 | 1 | 8 |
| Maparajuba 1064 | 0 | 0 | 9 |
| Maçaranduba 1386 | 0 | 0 | 9 |
| Maparajuba 161 | 0 | 0 | 9 |
| NI | 1 | 2 | 7 |

FONTE: A autora (2020)

É possível observar que mesmo correndo uma acurácia mínima de 80% nos modelos construídos, todos os indivíduos foram classificados como *Pouteria*. Portanto, foi testado novo modelo compreendendo apenas parte do espectro analisado. O segmento escolhido foi entre 5200 a 4000 cm^{-1} e a matriz de confusão do modelo de LDA construído pode ser observado na Tabela 4.10.

TABELA 4.10 – MATRIZ DE CONFUSÃO RESULTANTE DE LDA NO ESPECTRO 5200 A 4000 CM⁻¹; MÉDIAS DAS AMOSTRAS E PLANOS E VALOR DE ACURÁCIA

| <i>M</i> (83,33%) | <i>Manilkara</i> | <i>Mimusops</i> | <i>Pouteria</i> |
|--------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| <i>Manilkara</i> | 9 | 0 | 0 |
| <i>Micropholis</i> | 0 | 6 | 3 |
| <i>Pouteria</i> | 0 | 3 | 15 |
| X (91,67%) | | | |
| <i>Manilkara</i> | 3 | 0 | 0 |
| <i>Micropholis</i> | 0 | 2 | 0 |
| <i>Pouteria</i> | 0 | 1 | 6 |
| R (91,67%) | | | |
| <i>Manilkara</i> | 3 | 0 | 0 |
| <i>Micropholis</i> | 0 | 2 | 0 |
| <i>Pouteria</i> | 0 | 1 | 6 |
| T (91,67%) | | | |
| <i>Manilkara</i> | 3 | 0 | 0 |
| <i>Micropholis</i> | 0 | 2 | 0 |
| <i>Pouteria</i> | 0 | 1 | 6 |

FONTE: A autora (2020)

Com o novo modelo a acurácia média e por plano aumentou, e a classificação dos carvões continuou a mesma do modelo anterior como pode ser conferido na Tabela 4.11.

TABELA 4.11 – CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS DE RESEX A PARTIR DE LDA COM ESPECTRO 5200 A 4000 CM⁻¹

| | <i>Manilkara</i> | <i>Micropholis</i> | <i>Pouteria</i> |
|------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| Maçaranduba 1477 | 0 | 0 | 9 |
| Maparajuba 1064 | 0 | 0 | 9 |
| Maçaranduba 1386 | 0 | 0 | 9 |
| Maparajuba 161 | 0 | 0 | 9 |
| NI | 0 | 0 | 9 |

FONTE: A autora (2020).

Mesmo obtendo-se modelos de elevada acurácia, o uso do carvão para a classificação das amostras analisadas diferiu das demais técnicas utilizadas. A razão desses resultados pode estar relacionada com o fato de que as amostras de carvão utilizadas para a construção do modelo são de localidade distinta e não se tem o conhecimento da idade do indivíduo, local e altura em que foi retirada a amostra, além de estarem armazenadas há mais tempo do que aquelas que foram classificadas, variações que podem resultar em alterações no espectro final obtido. Soma-se a isto também o fato de que em decorrência do processo de carbonização, muitas substâncias que contribuiriam para a diferenciação das amostras foram degradadas.

4.3.4 Comparação das técnicas

A identificação das amostras por cada técnica só foi possível a nível de gênero e está na Tabela 4.12.

TABELA 4.12 - IDENTIFICAÇÃO DOS GÊNEROS DAS AMOSTRAS DA RESEX PELAS DIFERENTES TÉCNICAS

| Técnica | Amostras | | | | | |
|---------------------------------------------------------|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | 1477 | 1064 | 1386 | 161 | NI |
| Anatomia | | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> |
| | \bar{M} | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Pouteria</i> |
| Espectroscopia no Visível (dados originais) | X | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Pouteria</i> |
| | R | <i>Mimusops</i> | <i>Pouteria</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Pouteria</i> |
| | T | <i>Manilkara</i> | <i>Pouteria</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Pouteria</i> |
| Espectroscopia NIR madeira (2ª derivada) | \bar{M} | <i>Pouteria</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Pouteria</i> |
| | X | <i>Pouteria</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Pouteria</i> |
| | R | <i>Pouteria</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Pouteria</i> |
| Espectro total | T | <i>Pouteria</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Pouteria</i> |
| Espectroscopia NIR madeira (2ª derivada) | \bar{M} | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> |
| | X | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> |
| | R | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> |
| Faixa 7500-4000 cm⁻¹ | T | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> | <i>Manilkara</i> |
| Espectroscopia NIR carvão (dados após MSC) | \bar{M} | <i>Pouteria</i> | <i>Pouteria</i> | <i>Pouteria</i> | <i>Pouteria</i> | <i>Pouteria</i> |
| | X | <i>Pouteria</i> | <i>Pouteria</i> | <i>Pouteria</i> | <i>Pouteria</i> | <i>Pouteria</i> |
| | R | <i>Pouteria</i> | <i>Pouteria</i> | <i>Pouteria</i> | <i>Pouteria</i> | <i>Pouteria</i> |
| Espectro total e faixa 5200-4000 cm⁻¹ | T | <i>Pouteria</i> | <i>Pouteria</i> | <i>Pouteria</i> | <i>Pouteria</i> | <i>Pouteria</i> |

FONTE: A autora (2020)

Como observado, houve variação de classificação dentro e entre as técnicas utilizadas. A anatomia da madeira identificou todas as amostras como do gênero *Manilkara*. A espectroscopia no visível sofreu influência do plano de corte para duas amostras (1477 e 1064) misturando três gêneros (*Manilkara*, *Mimusops* e *Pouteria*), e classificou duas amostras (1386 e 161) como do gênero *Manilkara* e uma (NI) como do gênero *Pouteria*. A espectroscopia NIR da madeira foi influenciada pelo faixa do espectro utilizado (total 4000-10000 cm⁻¹ ou parcial 4000-7500 cm⁻¹), classificando no primeiro caso duas amostras (1477 e NI) como do gênero *Pouteria* e as outras como *Manilkara*, enquanto que a aplicação de parte do espectro resultou em classificação de todas as amostras como gênero *Manilkara*. A espectroscopia NIR do carvão não foi influenciada pela região do espectro e classificou todas as amostras como do gênero *Pouteria*.

Considerando-se como base a identificação em função da estrutura anatômica das amostras, as técnicas que apresentaram menores índices de acerto foram a espectroscopia VIS

da madeira e NIR do carvão. Essa problemática de classificação é assunto recorrente dentro da família Sapotaceae em que existem muitas semelhanças entre gêneros, ocorrendo inclusive dificuldade na identificação botânica e por meio de estudos utilizando marcadores genéticos e DNA barcoding. Heaton et al. (1999), ao analisar populações de *Manilkara zapota* em diferentes localidades no México com diferentes características edáficas não encontrou diferença nos marcadores genéticos analisados; contudo, a mesma espécie cultivada na Índia demonstrou significativa variação genética entre cultivares (MEGHALA et al., 2005). Ao avaliar 26 espécies de *Manilkara* na Floresta Atlântica, o melhor desempenho foi usando regiões do tipo ITS com 91,3% das espécies corretamente identificadas (MELO, 2012), corroborando que até mesmo estudos genéticos apresentam dificuldades na acurada identificação em decorrência do polimorfismo e não monofiletismo presente na família na atual organização taxonômica.

Portanto, este estudo também demonstra esta tendência e contribui para reafirmar a dificuldade de identificação entre indivíduos de Sapotaceae. Ademais, é observado dentro do universo do material analisado que a espectroscopia no infravermelho próximo tem potencial para a classificação de indivíduos a nível de gênero quando se trata de madeira sólida, contudo, demais análises expandido esse universo quanto à diversidade de localidade, idade e material genético é necessário para a construção de um modelo mais robusto.

Em relação ao carvão, as amostras da antracoteca eram muito poucas e de poucas espécies. Assim um banco de dados maior pode auxiliar na identificação das amostras.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todas as técnicas apresentaram dificuldades para uma identificação das amostras. Além da anatomia, método tradicional, a análise de espectros em NIR da madeira sólida foi a que se apresentou como o mais vantajoso e de maior acurácia.

Para a discriminação da madeira por cor, os dados originais e a superfície transversal são mais adequados. No caso do infravermelho próximo para madeira o pré-tratamento dos dados com segunda derivada e a média da amostra são os mais indicados, assim como a melhor faixa do espectro é a região entre 7500 - 4000 cm^{-1} .

A análise do carvão não se mostrou eficiente, portanto, indica-se o estudo do carvão com diferentes temperaturas finais de carbonização para testar a influência deste parâmetro na distinção de diferentes gêneros e procedências e o aumento do banco de dados da antracoteca.

Além das semelhanças anatômicas e daquelas intrínsecas à família a qual pertencem, a similaridade das amostras também se deve as características edafoclimáticas, altitude e relativa distância entre os locais de coleta, sendo todas aproximadas.

As técnicas não destrutivas apresentam limitações evidenciadas neste trabalho, portanto, em um cenário ideal o necessário para a construção de modelos mais acurados e eficazes seriam necessários para o material proveniente da RESEX um maior número de amostras por localidade que englobassem a variação medula-casca, diferentes idades e diferentes alturas do fuste; para as amostras provenientes de xiloteca o número de amostras por gênero e espécie também deveria ser maior além do conhecimento da procedência, idade e local da árvore de onde o material foi extraído (em que altura do fuste ou porção do galho, por exemplo), data de extração além do período e condições de armazenamento.

Contudo, mesmo com as limitações presentes neste estudo é possível perceber o potencial das técnicas utilizadas para a distinção entre indivíduos do gênero *Manilkara*.

REFERÊNCIAS

AMORIM, P.G.R.; GONÇALEZ, J.C.; CARMARGOS, J.A.A. Propriedades de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* estimadas por colorimetria. **Cerne**, v.19, n.3, p.461-466, 2013.

ARMSTRONG, K. **Systematics and biogeography of the pantropical genus *Manilkara Adans.*(Sapotaceae)**. Tese (PhD). Universidade de Edimburgo, 2010.

ATAYDE, C.M.; GONÇALEZ, J.C.; CAMARGOS, J.A. Características colorimétricas entre as seções anatômicas da madeira de muirapiranga (*Brosimum* sp.). **Cerne**, v.17, n.2, p.231-235, 2011.

BERGO, M.C.J.; PASTORE, T.C.M.; CORADIN, V.T.R.; WIEDENHOEFT, A.C.; BRAGA, J.W.B. NIRS identification of *Swietenia macrophylla* is robust across specimens from 27 countries. **IAWA Journal**, v.37, n.3, p.420–430, 2016.

BEYER, M.; KRÁNITZ, K.; BREMER, M.; PETERS, J.; FISCHER, S.; BUES, C.; NIEMZ, P. Effect of natural aging on the chemical composition of Norway spruce, Fir and european Oak wood. **Pro ligno**, v. 14, n. 2, p. 3-19, 2018.

BOTOSSO, P. **Identificação Macroscópica de Madeiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

CISNEROS, A.B.; NISGOSKI, S.; MOGLIA, J.G.; CÓRDOBA, M. Colorimetría en la madera de *Prosopis alba*. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v.21, n.3, p.393-404, 2019.

DAVRIEUX, F.; ROUSSET, P.L.A.; PASTORE, T.C.M.; MACEDO, L.A.D.; QUIRINO, W.F. Discrimination of native wood charcoal by infrared spectroscopy. **Química Nova**, v.33, n.5, p.1093–1097, 2010.

GASSON, P. How precise can wood identification be? Wood Anatomy's Role in Support of the Legal Timber Trade, Especially CITES. **IAWA Journal**, v.32, n.2, p.137-154, 2011.

GONÇALVES, T.A.P.; NISGOSKI, S.; OLIVEIRA, J.S.; MARCATI, C.R.; BALLARIN, A.W.; MUÑIZ, G.I.B. A contribution to the identification of charcoal origin in Brazil II: macroscopic characterization of Cerrado species. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.88, p.1045–1054, 2016.

HEATON, H. J.; WHITKUS, R.; GÓMEZ-POMPA, A. Extreme ecological and phenotypic differences in the tropical tree chicozapote (*Manilkara zapota* (L.) P. Royen) are not matched by genetic divergence: a random amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis. **Molecular Ecology**, v. 8, n. 4, p. 627-632, 1999.

HEIN, P.R.G., PAKKANEN, H.; SANTOS, A.A. Challenges in the use of near infrared spectroscopy for improving wood quality: A review. **Forest Systems**, 26(3), 1–10, 2017.

HORIKAWA, Y.; TAZURU, S.M.; SUGIYAMA, J. Near-infrared spectroscopy as a potential method for identification of anatomically similar Japanese diploxylons. **Journal of Wood Science**, v.61, n.3, p.251–261, 2015.

HWANG, S.W.; HORIKAWA, W.H.; LEE, W.H.; SUGIYAMA, J. Identification of *Pinus* species related to historic architecture in Korea using NIR chemometric approaches. **Journal of Wood Science**, v.62, n.2, p.156–167, 2016.

INSIDEWOOD. 2004-onwards. Disponível em: <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search>.

KUKACHKA, B. F. **Wood Anatomy of the Neotropical Sapotaceae: XX. Manilkara**. Research Paper FPL 371. Forest Products Laboratory, Forest Service, US Department of Agriculture, 1981.

LABBÉ, N.; HARPER, D.; RIALS, T.; ELDER, T. Chemical structure of wood charcoal by infrared spectroscopy and multivariate analysis. **Journal of Agricultural and Food chemistry**, v.54, n.10, p. 3492-3497, 2006.

LUÍS, R.C.G.; NISGOSKI, S.; KLITZKE, R.J. Effect of steaming on the colorimetric properties of *Eucalyptus saligna* wood. **Floresta e Ambiente**, v.25, n.1, p.1-6, 2018.

MONTEIRO, T.C.; SILVA, R.V.; LIMA, J.T.; HEIN, P.R.G.; NAPOLI, A. Use of near infrared spectroscopy to distinguish carbonization processes and charcoal sources. **Cerne**, v.16, p.381-390, 2010.

MEGHALA, R.; RAVISHANKAR, K. V.; ANAND, L.; REKHA, A. Genetic diversity of Indian sapota (*Manilkara zapota*) cultivars characterized by RAPD markers. **Plant Genetic Resources Newsletter** (IPGRI/FAO), n. 142, p. 43-46, 2005.

MELO, C. V. V. D. **DNA barcode em espécies arbóreas de Sapotaceae da Mata Atlântica**. Dissertação (Mestrado em Genética e Biologia Molecular). Universidade Estadual de Santa Cruz, 2012.

MOYA, R.; FALLAS, R.S.; BONILLA, P.J.; TENORIO, C. Relationship between wood color parameters measured by the CIELab system and extractive and phenol content in *Acacia mangium* and *Vochysia guatemalensis* from fast-growth plantations. **Molecules**, v.17, n.4, p.3639-3652, 2012.

MUÑIZ, G.I.B.; CARNEIRO, M.E.; NISGOSKI, S.; RAMIREZ, M.G.L.; MAGALHÃES W.L.E. SEM and NIR characterization of four charcoal species. **Wood Science and Technology**, v. 47, n. 4, p. 815-823, 2013.

MUÑIZ, G.I.B.; CARNEIRO, M.E.; BATISTA, F.R.R.; SCHARDOSIN, F.Z.; NISGOSKI, S. Wood and charcoal identification of five species from the miscellaneous group known in Brazil as “angelim” by near-ir and wood anatomy. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v.18, n.3, p.505–522, 2016.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G.I.B.; MORRONE, S.R.; SCHARDOSIN, F.Z.; FRANÇA, R.F. NIR and anatomy of wood and charcoal from Moraceae and Euphorbiaceae species. **Ciência da Madeira**, v.6, n.3, p.183–190, 2015.

NISGOSKI, S.; DE MUÑIZ, G.I.B.; GONÇALVES, T.A.P.; BALLARIN, A.W. Use of visible and near-infrared spectroscopy for discrimination of eucalypt species by examination of solid samples. **Journal of Tropical Forest Science**, v.29, n.3, p.371–379, 2017.

PASQUINI C. Near infrared spectroscopy: a mature analytical technique with new perspectives – a review. **Analitica Chimica Acta**, v.1026, p.8–36, 2018.

PASTORE, T.C.M.; BRAGA, J.W.B.; CORADIN, V.T.R.; MAGALHAES, W.L.E.; OKINO, E.Y.A.; CAMARGOS, J.A.A.; MUÑIZ, G.I.B.; BRESSAN, O.A.; DAVRIEUX, F. Near infrared spectroscopy (NIRS) as a potential tool for monitoring trade of similar woods: discrimination of true mahogany, cedar, andiroba, and curupixa. **Holzforschung**, v.65, p.73–80, 2011.

RAMALHO, F.M.G.; HEIN, P.R.G.; ANDRADE, J.M.; NAPOLI, A. Potential of near-infrared spectroscopy for distinguishing charcoal produced from planted and native wood for energy purpose. **Energy Fuels**, v.31, p.1593–1599, 2017.

SANDAK, A.; SANDAK, J.; RIGGIO, M. Assessment of wood structural members degradation by means of infrared spectroscopy: an overview. **Structural Control and Health Monitoring**, v.23, n.3., p., 2016.

SANTOS, J.X. **Características anatômicas e espectroscopia vis/nir na discriminação das espécies comercializadas como “tauari” na Amazônia Brasileira**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. 2018.

SCHWANNINGER, M.; RODRIGUES, J.C.; FACKLER, K. A review of band assignments in near infrared spectra of wood and wood components. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v.19, n.5, p.287–308, 2011.

SNELL, F.A.; BRAGA, J.W.B.; SILVA, D.; WIEDENHOEF, A.C.; COSTA, A.; SOARES, R.; CORADIN, V.T.R.; PASTORE, T.C.M. Potential field-deployable NIRS identification of seven *Dalbergia* species listed by CITES. **Wood Science and Technology**, v.52, p.1411–1427, 2018.

SOARES, L.F.; SILVA, D.C.; BERGO, M.C.J.; CORADIN, V.T.R.; BRAGA, J.W.; PASTORE, T.C.M. Evaluation of a NIR handheld device and PLS-DA for discrimination of six similar Amazonian wood species. **Quimica Nova**, v.40, p.418–426, 2017.

SOFFIATTI, P.; BOEGER, M.R.T.; NISGOSKI, S.; KAUI, F. Wood anatomical traits of the Araucaria Forest, Southern Brazil. **Bosque**, v. 37, n. 1, p. 21-31, 2016.

SOTELO MONTES, C.; WEBER, J.C.; GARCIA, R.A.; SILVA, D.A.; MUÑIZ, G.I.B. Variation in wood color among natural populations of five tree and shrub species in the Sahelian and Sudanian ecozones of Mali. **Canadian Journal of Forest Research**, v.43, n.6, p.552-562, 2013.

STANGERLIN, D. M.; COSTA, A. F.; GONÇALEZ, J. C.; PASTORE, T. C. M.; GARLET, A. Monitoramento da biodeterioração da madeira de três espécies amazônicas pela técnica da colorimetria. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 4, p.429 – 438 2013.

TSUCHIKAWA, S.; KOBORI, H. A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. **Journal of Wood Science**, v. 61, n. 3, p. 213 - 220, 2015.

VALVERDE, J.C.; MOYA, R. Correlation and modeling between color variation and quality of the surface between accelerated and natural tropical weathering in *Acacia mangium*, *Cedrela odorata* and *Tectona grandis* wood with two coating. **Color Research and Application**, v.39, n.5, p.519-529, 2014.

VIEIRA, H.C.; SILVA, E.L.; SANTOS, J.X.; MUÑIZ, G.I.B.; MORRONE, S.R.; NISGOSKI, S. Wood colorimetry of native species of Myrtaceae from an Araucaria forest. **Floresta**, v.49, n.2, p.353-362, 2019a.

VIEIRA, H.C.; SANTOS, J.X.; SILVA, E.L.; RIOS, P.DA. MUÑIZ, G.I.B.; MORRONE, S.R.; NISGOSKI, S. Potential of the near-infrared spectroscopy for the discrimination of wood and charcoal of four native Myrtaceae species in southern Brazil, *Wood Material Science & Engineering*, 2019b.

VIVAS, C. V.; MORAES, R. C. S.; ALVES-ARAÚJO, A.; ALVES, M.; MARIANO-NETO, E.; VAN DEN BERG, C.; GAIOTT, F. A. DNA barcoding in Atlantic Forest plants: What is the best marker for Sapotaceae species identification?. **Genetics and molecular biology**, v. 37, n. 4, p. 662-670, 2014

WHEELER, E. A.; BAAS, P. Wood identification - A review. **IAWA Journal**, v.19, n.3, p. 241–264, 1998.

CONSIDERAÇÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES

As madeiras conhecidas como maçaranduba e maparajuba analisadas neste estudo podem ser utilizadas para os mesmos fins comerciais por apresentarem grandes semelhanças anatômicas, de densidade básica, coloração e químicas. Além de pertencerem à mesma família e gênero, essas similaridades podem ser atribuídas pela proximidade dos locais de coleta (cerca de 35km entre comunidades e de 360m a pouco mais de 1km entre árvores de uma mesma comunidade), mesma altitude e portanto, se encontram nas mesmas condições morfoclimáticas, apresentando inclusive muitas paridades na composição do solo (acidez, salinidade, teores de cálcio, potássio e magnésio, dentre outros). Contudo, é possível observar heterogeneidade nos teores de fósforo, carbono orgânico, manganês, ferro e zinco, além da granulometria das porções de argila, silte e areia total, aonde estes últimos terão influência na drenagem do solo e, portanto, correlação na dinâmica solo-água-plantas e nos mecanismos de eficiência hidráulica.

A família Sapotaceae sofreu uma série de reclassificações desde a sua criação com a formação, exclusão e incorporação de gêneros, tribos e subtribos. Esses agrupamentos se baseiam em características dos elementos reprodutivos, especialmente características florais e da semente e que ainda assim geram dúvidas no momento da identificação tal é a semelhança entre os gêneros desta família. As delimitações taxonômicas dentro desse universo são problemáticas em razão de que não há um único caractere diagnóstico distintivo entre os agrupamentos, ocorrendo na verdade uma sobreposição de características que estão presentes nos diversos táxons. A última organização da família Sapotaceae amplamente aceita é do início da década de 90, desde então os esforços estão voltados para estudos moleculares, os quais tem sugerido diversas modificações hierárquicas.

O gênero *Manilkara* também segue a mesma problemática da família, sofrendo diversas incorporações e exclusões ao longo das décadas, sendo os estudos mais recentes baseados em análises genéticas, os quais apontam para grupos não monofiléticos, criação de novo gênero, reorganização de tribos e subtribos e reconhecimento de “raças” em algumas espécies. Mesmo a nível genético, muitos desses estudos ainda são inconclusivos, necessitando de maior suporte e novas análises com uma amostragem mais robusta e diversa para sua comprovação.

Portanto, este estudo reforça a dificuldade de identificação e classificação de indivíduos da família Sapotaceae, tanto no que tange a anatomia da madeira, técnica tradicional destrutiva, em que as variações entre indivíduos se apresentaram sutis e podem ser

consequências de uma série de fatores desde local da árvore em que a amostra foi coletada, características de sítio e genética do indivíduo (especialmente em um grupo que apresenta significativa plasticidade), até metodologias não destrutivas, que resultaram em informações de caráter descritivo e não necessariamente distintivo, aonde o NIR ainda apresentou sensibilidade para a separação das amostras por local de procedência.

INDICAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para uma melhor compreensão dos objetos de estudo, indica-se uma análise química qualitativa dos componentes da madeira, com destaque para os extrativos e sua correlação com a colorimetria dos indivíduos analisados.

A análise de propriedades físicas e mecânicas e sua correlação com as variáveis analisadas neste estudo seria de grande valia para a compreensão de suas interações e eficiência de sua predição por técnicas não destrutivas.

Para estudos colorimétricos indica-se um maior número de indivíduos pertencentes ao gênero *Manilkara* para entender se há algum padrão colorimétrico nas espécies que o compõe.

Para a construção de modelos mais robustos de classificação, indica-se o aumento da amostragem para cinco indivíduos por tipo de árvore por localidade contemplando variação base-topo e medula-casca, se possível conhecendo a idade dos indivíduos e utilizando este fator também como variável;

Ainda neste interim, sugere-se a coleta de indivíduos de diversas localidades, abrangendo uma maior variação geográfica incluindo espécimes de diferentes biomas.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR-11941: madeira: determinação da densidade básica. 2003.

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

ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. *Iawa Journal*, v. 23, n. 4, p. 391-418, 2002.

AMORIM, P.G.R.; GONÇALEZ, J.C.; CARMARGOS, J.A.A. Propriedades de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* estimadas por colorimetria. *Cerne*, v.19, n.3, p.461-466, 2013.

ANDERBERG, A.A.; SWENSON, U. Evolutionary lineages in Sapotaceae (Ericales): a cladistic analysis based on NDH F sequence data. *International Journal of Plant Sciences*, v.164, n.5, p.763-773, 2003.

ANDRADE, C.R.; TRUGILHO, P. F.; HEIN, P.R.G.; LIMA, J. T.; NAPOLI, A. Near infrared spectroscopy for estimating *Eucalyptus* charcoal properties, *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, v. 20, p. 657–666, 2012.

ARMSTRONG, K. **Systematics and biogeography of the pantropical genus *Manilkara Adans.*(Sapotaceae)**. Tese (PhD). Universidade de Edimburgo, 2010.

ATAYDE, C.M.; GONÇALEZ, J.C.; CAMARGOS, J.A. Características colorimétricas entre as seções anatômicas da madeira de muirapiranga (*Brosimum* sp.). *Cerne*, v.17, n.2, p.231-235, 2011.

AUTRAN, C.S.; GONÇALEZ, J.C. Caracterização colorimétrica das madeiras de muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.) e de seringueira (*Hevea brasiliensis*), clone TJIR 16 Müll Arg. visando à utilização em interiores. *Ciência Florestal*, v. 16, n. 4, 2006.

BAAS, P.; WERKER, E.; FAHN, A. Some ecological trends in vessel characters. *IAWA Bulletin*, v. 4, n. 2-3, p. 141-160, 1983.

BARROS, S.V.S.; MUÑIZ, G.I.B.; DE MATOS, J.L.M. Caracterização colorimétrica das madeiras de três espécies florestais da Amazônia. *Cerne*, v. 20, n. 3, p. 337-342, 2014

BERGO, M.C.J.; PASTORE, T.C.M.; CORADIN, V.T.R.; WIEDENHOEFT, A.C.; BRAGA, J.W.B. NIRS identification of *Swietenia macrophylla* is robust across specimens from 27 countries. **IAWA Journal**, v.37, n.3, p.420–430, 2016.

BEYER, M.; KRÁNITZ, K.; BREMER, M.; PETERS, J.; FISCHER, S.; BUES, C.; NIEMZ, P. Effect of natural aging on the chemical composition of Norway spruce, Fir and european Oak wood. **Proligno**, v. 14, n. 2, p. 3-19, 2018.

BOTOSSO, P. **Identificação Macroscópica de Madeiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

BRASIL. Decreto não numerado, de 8 de novembro de 2004: dispõe sobre a criação da reserva extrativista Verde Para Sempre, no Município de Porto de Moz, Estado do Pará. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Dnn/Dnn10350.htm>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Relatório Parametrizado** - Unidade de Conservação: Reserva Extrativista Verde Para Sempre, 2019. Disponível em: <<http://sistemas.mma.gov.br/cnuc/index.php?ido=relatorioparametrizado.exibeRelatorio&relatorioPadrao=true&idUc=260>>.

BRASIL. Portaria MMA nº443, de 17 de dezembro de 2014. "Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção". **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil], Brasília, nº 245, p. 110, 18 de dezembro de 2014. Seção 1.

BRASIL. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional**: ano base 2018. Ministério de Minas e Energia, 2019.

BRUNNER, M.; EUGSTER, R.; TRENKA, E.; BERGANMINSTROTZ, L. 1996. FT-NIR spectroscopy and wood identification. **Holzforschung**, v.50, n.2, p.130–134, 1996.
CADEMARTORI, P.M.G.; CADEMARTORI, P. H. G.; SCHNEID, E.; GATTO, D.A.; STANGERLIN, D.M.; BELTRAME, R. Thermal modification of *Eucalyptus grandis* wood: variation of colorimetric parameters. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 15, n. 1, p. 57-64, 2013.

CAMARGOS, J.A.A. **Colorimetria quantitativa aplicada na elaboração de uma tabela de cores para madeiras tropicais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

CAMARGOS, J.A.A.; GONÇALEZ, J.C.A. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, v. 71, p.30-41, 2001.

CARLQUIST, S. **Ecological strategies of xylem evolution**. Berkeley: University of California Press, 1975. 259p.

CARVALHO, A.F.; BRAND, M.A.; NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G.I.B.; FRIEDERICHS, G.; KUSTER, L.C.; SANTOS, T.S. Anatomia do carvão oriundo de cinco espécies comercializadas no estado de Santa Catarina. **Ciência da Madeira**, v.8, n.3, p.158-167, 2017.

CARVALHO, L. G.; SOUZA, B. R. G.; CUNHA, A. P. A. ‘Passaporte para a floresta’: a regulação do extrativismo de balata na Floresta Estadual do Paru, estado do Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 13, n. 2, p. 261-291, 2018.

CASTRO, T. C.; CARVALHO, J. O. P. Dinâmica da população de *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev. durante 26 anos após a exploração florestal em uma área de terra firme na Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 161-169, 2014.

CHIPAIA, F. D. C.; REIS, A. R. S.; REIS, L. P.; CARVALHO, J. C. D.; SILVA, E. F. R. D. Descrição anatômica macroscópica de madeira de oito espécies florestais comercializadas no município de Altamira-PA. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 2, n. 1, p. 18-24, 2015.

CISNEROS, A.B.; NISGOSKI, S.; MOGLIA, J.G.; CÓRDOBA, M. Colorimetria en la madera de *Prosopis alba*. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v.21, n.3, p.393-404, 2019.

COOPER, P. A.; JEREMIC, D.; RADIVOJEVIC, S.; UNG, Y. T. and Leblon B. Potential of near-infrared spectroscopy to characterize wood products. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 41, p. 2150–2157, 2011.

CORADIN, V.T.R.; MUÑIZ, G.I.B. **Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira**: I. Angiospermae, II. Gimnospermae. LPF: Série Técnica, 15, Brasília, 1992. 17p.

COSTA, A. D. C. **Anatomia da madeira em Sapotaceae**. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Botânica. 2007. 200p.
COSTA, L. R.; TRUGILHO, P. F.; HEIN, P. R. G. Evaluation and classification of Eucalypt charcoal quality by near infrared spectroscopy. **Biomass and Bioenergy**, v. 112, p. 85-92, 2018.

CREMONEZ, V.G.; KLITZKE, R.J.; SILVA, E.J.; MUÑIZ, G.I.B.; NISGOSKI, S. Influence of age on the discrimination of *Tectona grandis* by VIS/NIR spectroscopy. **Floresta e Ambiente** 2019; 26(2): e20170159.

DAVRIEUX, F.; ROUSSET, P.L.A.; PASTORE, T.C.M.; MACEDO, L.A.; QUIRINO, W.F. Discrimination of native wood charcoal by infrared spectroscopy. **Química Nova**, v. 33, n. 5, p. 1093–1097, 2010.

DAWSON-ANDOH, B.; ADEDIPE, O.E. Rapid spectroscopic separation of three Canadian softwoods. **Wood Science and Technology**, v. 46, n. 6, p. 1193-1202, 2012.

DENARDI, L.; MARCHIORI, J. N. C. Anatomia ecológica da madeira de *Blepharocalyx salicifolius* (HBK) Berg. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 2, p. 119-127, 2005.

DICKISON, W.C. **Integrative Plant Anatomy**. Londres: Academic Press, 2000.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, v. 155, n. 3924, p. 51-51, 1945.

GASSON, P. How precise can wood identification be? Wood Anatomy's Role in Support of the Legal Timber Trade, Especially CITES. **IAWA Journal**, v.32, n.2, p.137-154, 2011.

GIBE, M.; KALAW, J.M.; ABASOLO, W. P.; SEVILA III, F. Chemometric differentiation of Dipterocarpaceae wood species based on colorimetric measurements. **Philippine Journal of Science**, v.148, n.3, p. 473-480, 2019.

GOMES, J.I.; FERREIRA, G.C.; URBINATI, C. **Anatomia e identificação de madeiras amazônicas**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental; 2002.

GONÇALEZ, J. C. **Caracterisation Technologique de quatre espèces peu connues da la forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques**. Tese (Doutorado). ENGREF, 1993.

GONÇALVES, T. A. P. **Anatomia do lenho e carvão de espécies arbóreas em áreas de cerrado do Estado de São Paulo**. 2010. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

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

GONÇALVES, T.A.P.; NISGOSKI, S.; OLIVEIRA, J.S.; MARCATI, C.R.; BALLARIN, A.W.; MUÑIZ, G.I.B. A contribution to the identification of charcoal origin in Brazil II: macroscopic characterization of Cerrado species. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.88, p.1045–1054, 2016.

GU, Y.; SHOU, G.; ZHANG, W.; ZHAO, D. Application of near infrared spectroscopy for discrimination of similar rare woods in the Chinese market. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 22, n. 6, p. 423–431, 2014.

HEATON, H. J.; WHITKUS, R.; GÓMEZ-POMPA, A. Extreme ecological and phenotypic differences in the tropical tree chicozapote (*Manilkara zapota* (L.) P. Royen) are not matched by genetic divergence: a random amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis. **Molecular Ecology**, v. 8, n. 4, p. 627-632, 1999.

HEIN, P.R.G., PAKKANEN, H.; SANTOS, A.A. Challenges in the use of near infrared spectroscopy for improving wood quality: A review. **Forest Systems**, 26(3), 1–10, 2017.

HEIN, P.R.G.; CHAIX, G. NIR spectral heritability: a promising tool for wood breeders?. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 22, n. 2, p. 141-147, 2014.

HORIKAWA, Y.; TAZURU, S.M.; SUGIYAMA, J. Near-infrared spectroscopy as a potential method for identification of anatomically similar Japanese diploxylons. **Journal of Wood Science**, v.61, n.3, p.251–261, 2015.

HWANG, S.W.; HORIKAWA, W.H.; LEE, W.H.; SUGIYAMA, J. Identification of *Pinus* species related to historic architecture in Korea using NIR chemometric approaches. **Journal of Wood Science**, v.62, n.2, p.156–167, 2016.

IAWA COMMITTEE. List microscope features of hardwood identification. **IAWA Bulletin**, v.10, n. 3, p. 221-259, 1989.

IMAZON/IEEB. Avaliação da pressão humana na Reserva Extrativista Verde para Sempre no oeste do Pará. 2006.

INSIDEWOOD. 2004-onwards. Disponível em: <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search>.

JANIN, G.; GONZALES, J.; ANANIAS, R.; CHARRIER, B.; SILVA, G.F.; DILEM, A. Aesthetics appreciation of wood colour and patterns by colorimetry. Part 1. Colorimetry theory for the CIELab system, 2001.

JBRJ – JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. Flora do Brasil 2020. In: REFLORA – Plantas do Brasil: Resgate Histórico e Herbário Virtual Para o Conhecimento e Conservação da Flora do Brasil. Disponível em: <
<http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaUC.do#CondiacaoTaxonCP>>.

KUKACHKA, B. F. **Wood Anatomy of the Neotropical Sapotaceae: XX. Manilkara.** Research Paper FPL 371. Forest Products Laboratory, Forest Service, US Department of Agriculture, 1981.

LABBÉ, N.; HARPER, D.; RIALS, T.; ELDER, T. Chemical structure of wood charcoal by infrared spectroscopy and multivariate analysis. **Journal of Agricultural and Food chemistry**, v.54, n.10, p. 3492-3497, 2006.

LAZARESCU, C.; HART, F.; PIROUZ, Z.; PANAGIOTIDIS, K.; MANSFIELD, S. D.; BARRETT, J. D.; AVRAMIDIS, S. Wood species identification by near-infrared spectroscopy. **International Wood Products Journal**, v. 8, n. 1, p. 32-35, 2017.

LAZARESCU, C.; PANAGIOTIDIS, K.; AVRAMIDIS S. Color variation of stained wood products in association to near infrared spectroscopys cans. **European Journal of Wood and Wood Products**, v.72, p. 81–85, 2014.

LEME, C.L.D.; CARTWRIGHT, C.; GASSON, P. Anatomical changes to the wood of *Mimosa ophthalmocentra* and *Mimosa tenuiflora* when charred at different temperatures. **IAWA Journal**, v. 31, n. 3, p. 333-351, 2010.

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

LONGUI, E. L.; YOJO, T.; LOMBARDI, D. R.; ALVES, E. S. The potential of ipê (*Handroanthus* spp.) and maçaranduba (*Manilkara* spp.) woods in the manufacture of bows for string instruments. **Iawa Journal**, v. 31, n. 2, p. 149-160, 2010.

LUÍS, R.C.G.; NISGOSKI, S.; KLITZKE, R.J. Effect of steaming on the colorimetric properties of *Eucalyptus saligna* wood. **Floresta e Ambiente**, v.25, n.1, p.1-6, 2018.

MARCATI, C. R.; ANGYALOSSY, V.; EVERT, R. F. Seasonal variation in wood formation of *Cedrela fissilis* (Meliaceae). **IAWA journal**, v. 27, n. 2, p. 199-211, 2006.

MARCATI, C. R.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V.; BENETATI, L. Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinoideae) de floresta e cerrado. *Brazilian Journal of Botany*, v. 24, n. 3, p. 311-320, 2001.

MARCELO, M.C.A.; MARTINS, C.A.; POZEBON, D.; FERRÃO, M.F. Methods of multivariate analysis of NIR reflectance spectra for classification of yerba mate. **Analytical Methods**, v. 6, n. 19, p. 7621-7627, 2014.

MARCHIORI, J. N. C. **Elementos de dendrologia**. 2. ed. Santa Maria: Ed. UFSM, 2004. 176p.

MARTINS-DA-SILVA, R. C. V. **Coleta e identificação de espécimes botânicos**. Embrapa Amazônia Oriental-Documentos 143 (INFOTECA-E), 2002.

MARTINS-DA-SILVA, R. C. V.; HOPKINS, M. G.; THOMPSON, I. S. **Identificação botânica na Amazônia: situação atual e perspectivas**. Embrapa Amazônia Oriental - Documentos 168 (INFOTECA-E), 2003.

MATTOS, B. D.; CADEMARTORI, P.H.G.; LOURENÇON, T.; GATTO, D.A. Colour changes of Brazilian eucalypts wood by natural weathering. **International Wood Products Journal**, v. 5, n. 1, p. 33-38, 2013.

MEGHALA, R.; RAVISHANKAR, K. V.; ANAND, L.; REKHA, A. Genetic diversity of Indian sapota (*Manilkara zapota*) cultivars characterized by RAPD markers. **Plant Genetic Resources Newsletter** (IPGRI/FAO), n. 142, p. 43-46, 2005.

MELO, C. V. V. D. **DNA barcode em espécies arbóreas de Sapotaceae da Mata Atlântica**. Dissertação (Mestrado em Genética e Biologia Molecular). Universidade Estadual de Santa Cruz, 2012.

METCALFE, C. R. Anatomy, phylogeny and taxonomy. In: **Anatomy of dicotyledons**, METCALFE, C. R.; CHALK, L. Oxford: Clarendon Press, v. 2, 1983. 2.ed.

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

METCALFE, C.R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons: leaves, stem, and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses**. Oxford Press, v. 2, 1965. 1499p.

MOLINA, J. C.; CALIL NETO, C.; CHRISTOFORO, A. L. Resistência à tração de emendas dentadas de madeira de *Manilkara huberi* para o emprego em madeira laminada colada. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 221-227, 2016.

MONTEIRO, T.C.; SILVA, R.V.; LIMA, J.T.; HEIN, P.R.G.; NAPOLI, A. Use of near infrared spectroscopy to distinguish carbonization processes and charcoal sources. **Cerne**, v.16, p.381-390, 2010.

MOREIRA, L. S.; MOUTINHO, V. H. P. Densidade básica e resistência mecânica de madeiras de resíduos florestais da região amazônica. **Revista Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 64-81, 2018.

MORI, C. L. S. D. O.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; OLIVEIRA, A. C. Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 123-132, 2004.

MOYA, R.; FALLAS, R.S.; BONILLA, P.J.; TENORIO, C. Relationship between wood color parameters measured by the CIELab system and extractive and phenol content in *Acacia mangium* and *Vochysia guatemalensis* from fast-growth plantations. **Molecules**, v.17, n.4, p.3639-3652, 2012.

MOYA, R.; MARÍN, J. D. Grouping of *Tectona grandis* (L.f.) clones using wood color and stiffness. **New Forests**, v. 42, n. 3, p. 329-345, 2011.

MUÑIZ, G.I.B.; CARNEIRO, M.E.; BATISTA, F.R.R.; SCHARDOSIN, F.Z.; NISGOSKI, S. Wood and charcoal identification of five species from the miscellaneous group known in Brazil as “angelim” by near-ir and wood anatomy. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v.18, n.3, p.505–522, 2016.

MUÑIZ, G.I.B.; CARNEIRO, M.E.; NISGOSKI, S.; RAMIREZ, M.G.L.; MAGALHÃES W.L.E. SEM and NIR characterization of four charcoal species. **Wood Science and Technology**, v. 47, n. 4, p. 815-823, 2013.

MUÑIZ, G.I.B.; NISGOSKI, S.; FRANÇA, R.F.; SCHARDOSIN, F.Z. Comparative anatomy of wood and charcoal of *Cedrelinga catenaeformis* Ducke and *Enterolobium schomburgkii* Benth. for identification purposes. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 94, p. 291-297, 2012a.

MUÑIZ, G.I.B.; NISGOSKI, S.; SCHARDOSIN, F.Z.; FRANÇA, R.F. Anatomia do carvão de espécies florestais. **Cerne**, v. 18, n. 3, p. 471-477, 2012b.

NISGOSKI, S., BATISTA, F.R.R., NAIDE, T.L., LAUBE, N.C.C., LEÃO, A.C.R.; MUÑIZ, G.I.B. Discrimination of wood and charcoal from six caatinga species by near-infrared spectroscopy. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v.20, n.2, p. 199–210, 2018.

NISGOSKI, S., SCHARDOSIN, F.Z., BATISTA, F.R.R., MUÑIZ, G.I.B., CARNEIRO, M.E. Potential use of NIR spectroscopy to identify *Cryptomeria japonica* varieties from southern Brazil. **Wood Science and Technology**, v. 50, n. 1, p. 71-80, 2016.

NISGOSKI, S.; DE MUÑIZ, G.I.B.; GONÇALVES, T.A.P.; BALLARIN, A.W. Use of visible and near-infrared spectroscopy for discrimination of eucalypt species by examination of solid samples. **Journal of Tropical Forest Science**, v.29, n.3, p.371–379, 2017.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G.I.B, FRANÇA, R.F.; BATISTA, F.R.R. Anatomia do lenho carbonizado de *Copaifera* cf. *langsdorfii* Desf. e *Dipteryx odorata* (Aubl.) Wild. **Ciência da Madeira**, v. 3, n. 2, p. 66-79, 2012.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G.I.B.; MORRONE, S.R.; SCHARDOSIN, F.Z.; FRANÇA, R.F. NIR and anatomy of wood and charcoal from Moraceae and Euphorbiaceae species. **Ciência da Madeira**, v.6, n.3, p.183–190, 2015.

NISHINO, Y.; JANIN, G.; CHANSON, B.; DÉTIENNE, P.; GRIL, J.; THIBAUT, B. Colorimetry of wood specimens from French Guiana. **Journal of Wood Science**, v. 44, n. 1, p. 3-8, 1998.

NISHINO, Y.; JANIN, G.; YAINADA, Y.; KITANO, D. Relations between the colorimetric values and densities of sapwood. **Journal of Wood Science**, v.46, n.4, p.267-272, 2000.

NOBRE, J. R. C.; CASTRO, J. P.; BIANCHI, M. L.; BORGES, W. M. S.; TRUGILHO, P. F., MOULIN, J. C.; NAPOLI, A. Caracterização do carvão ativado produzido a partir de serragens de maçaranduba. *Scientia Forestalis*, v. 43, n. 107, p. 693-702, 2015.

OLIVEIRA, A.A.; SIQUEIRA, P.H.; NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G.I.B.; FERREIRA, J.H. Identificação de madeiras utilizando a espectrometria no infravermelho próximo e redes neurais artificiais. **TEMA (São Carlos)**, v. 16, n. 2, p. 81-95, 2015.

OLTEAN, L.; TEISCHINGER, A.; HANSMANN, C. Wood surface discolouration due to simulated indoor sunlight exposure. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 66, n. 1, p. 51-56, fev. 2008.

ORTIZ, F. Quem é a líder extrativista que está ajudando a mudar o Pará. **O Eco**. 02 de janeiro de 2018. Disponível em: <<https://www.oeco.org.br/reportagens/quem-e-a-lider-extrativista-que-esta-ajudando-a-mudar-o-para/>>.

PASQUINI C. Near infrared spectroscopy: a mature analytical technique with new perspectives – a review. **Analitica Chimica Acta**, v.1026, p.8–36, 2018.

PASTORE, T.C.M., BRAGA, J.W.B., CORADIN, V.T.R., MAGALHÃES, W.L.E., OKINO, E.Y.A., CAMARGOS, J.A.A., MUÑIZ, G.I.B., BRESSAN, O.A.; DAVRIEUX, F. Near infrared spectroscopy (NIRS) as a potential tool for monitoring trade of similar woods: Discrimination of true magogany, cedar, andiroba and curupixá. **Holzforschung**, v.65, n.1, 73–80, 2011.

PASTORE, T.C.M.; BRAGA, J.W.B.; CORADIN, V.T.R.; MAGALHAES, W.L.E.; OKINO, E.Y.A.; CAMARGOS, J.A.A.; MUÑIZ, G.I.B.; BRESSAN, O.A.; DAVRIEUX, F. Near infrared spectroscopy (NIRS) as a potential tool for monitoring trade of similar woods: discrimination of true mahogany, cedar, andiroba, and curupixa. **Holzforschung**, v.65, p.73–80, 2011.

PENNINGTON, T.D. 1991. **The genera of Sapotaceae**. The New Botanical Garden, New York. 295p.

PROCÓPIO, L. C.; SECCO, R. S. A importância da identificação botânica nos inventários florestais: o exemplo do "tauari" (*Couratari* spp. e *Cariniana* spp. - Lecythidaceae) em duas áreas manejadas no estado do Pará. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 1, p. 31-44, 2008.

RAMALHO, F.M.G.; ANDRADE, J.M.; HEIN, P.R.G. Rapid discrimination of wood species from native forest and plantations using near infrared spectroscopy. **Forest systems**, v. 27, n. 2, p. 4, 2018.

RAMALHO, F.M.G.; HEIN, P.R.G.; ANDRADE, J.M.; NAPOLI, A. Potential of near-infrared spectroscopy for distinguishing charcoal produced from planted and native wood for energy purpose. **Energy Fuels**, v.31, p.1593–1599, 2017.

REIS, C.A.; CISNEROS, A.B.; SILVA, E.L.; MUÑIZ, G.I.B.; MORRONE, S.R.; NISGOSKI, S. NIR spectroscopy and wood anatomy to distinguish *Prosopis alba* wood and charcoal from natural and planted forest. **International Wood Products Journal**, v.10, n.4, p.168-177, 2019.

REIS, L. P.; SILVA, J. N. M.; REIS, P. C. M.; CARVALHO, J. O. P.; QUEIROZ, W. T.; RUSCHEL, A. R. Efeito da exploração de impacto reduzido em algumas espécies de Sapotaceae no leste da Amazônia. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 395-406, 2013.

RIBEIRO, E. S. **Propriedades tecnológicas de vinte espécies de madeiras tropicais comercializadas pelo estado de Mato Grosso**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Univesidade de Brasília, 2017.

ROCHA, J. C. Cor luz, Cor Pigmento e os Sistemas RGB e CMY. **Revista Belas Artes**, 2011. Disponível em: < <http://www.belasartes.br/revistabelasartes/downloads/artigos/3/cor-luz-cor-pigmento-e-os-sistemas-rgb-e-cmy.pdf> >.

SANDAK, A.; SANDAK, J.; NEGRI, M. Relationship between near-infrared (NIR) spectra and the geographical provenance of timber. **Wood Science and Technology**, v.45, n.1, p.35-48, 2011.

SANDAK, A.; SANDAK, J.; RIGGIO, M. Assessment of wood structural members degradation by means of infrared spectroscopy: an overview. **Structural Control and Health Monitoring**, v.23, n.3., p., 2016.

SANTOS, J.X. **Características anatômicas e espectroscopia vis/nir na discriminação das espécies comercializadas como “tauari” na Amazônia Brasileira**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. 2018.

SCHANDA, J. Colorimetry: understanding the CIE system. John Wiley & Sons, 2007.
SCHIMLECK, L. R.; MATOS, J. L. M.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J. G. Comparison of methods for estimating mechanical properties of wood by NIR spectroscopy. **Journal of Spectroscopy**, v. 2018, 2018.

SCHWANNINGER, M.; RODRIGUES, J.C.; FACKLER, K. A review of band assignments in near infrared spectra of wood and wood components. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v.19, n.5, p.287–308, 2011.

SEREJO, E.S.; CAL, D. Amazônia e o desafio da sustentabilidade: reflexões a partir da construção do marco estratégico do Projeto Jutai na Reserva Extrativista Verde para Sempre. **P2P e INOVAÇÃO**, v. 2, n. 2, p. 94-114, 2016.

SILVA JUNIOR, J. F.; BEZERRA, J. E. F.; LEDERMAN, I. E.; MOURA, R. J. M. D. O sapotizeiro no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 86-99, 2014.

SILVA, E. S.; STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L.; PARIZ, E. Colorimetria da madeira de oito espécies nativas do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência da Madeira**, v. 6, n. 1, p. 31-37, 2015.

SILVA, J.O.; PASTORE, T.C.M.; PASTORE JÚNIOR, F. Resistência ao intemperismo artificial de cinco madeiras tropicais e de dois produtos de acabamento. **Revista Ciência Florestal**, v. 17, n. 1, 17-23, 2007.

SILVA, M. A. Balateiros da Flota Paru: relações de trabalho, conhecimentos tradicionais e memória como experiência social. **Revista Ciências da Sociedade**, v. 2, n. 3, p. 260-280, 2018.

SILVA, R. A. F.; SETTER, C.; MAZETTE, S. S.; DE MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M. Colorimetria da madeira de trinta espécies tropicais. **Ciência da Madeira**, v. 8, n. 1, p. 36-41, 2017.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. D. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 2, p. 179 – 184, 2013.

SIMONIAN, L. T. L. Relações de Trabalho e de Gênero nos Balatais. In: **Amazônia: políticas públicas e diversidade cultural**, p. 195- 232, 2006.

SNELL, F.A.; BRAGA, J.W.B.; SILVA, D.; WIEDENHOEF, A.C.; COSTA, A.; SOARES, R.; CORADIN, V.T.R.; PASTORE, T.C.M. Potential field-deployable NIRS identification of seven *Dalbergia* species listed by CITES. **Wood Science and Technology**, v.52, p.1411–1427, 2018.

SOARES, L.F.; SILVA, D.C.; BERGO, M.C.J.; CORADIN, V.T.R.; BRAGA, J.W.; PASTORE, T.C.M. Evaluation of a NIR handheld device and PLS-DA for discrimination of six similar Amazonian wood species. **Química Nova**, v.40, p.418–426, 2017.

SOFFIATTI, P.; BOEGER, M.R.T.; NISGOSKI, S.; KAUAI, F. Wood anatomical traits of the Araucaria Forest, Southern Brazil. **Bosque**, v. 37, n. 1, p. 21-31, 2016.

SOTELO MONTES, C.; WEBER, J.C.; GARCIA, R.A.; SILVA, D.A.; MUÑIZ, G.I.B. Variation in wood color among natural populations of five tree and shrub species in the Sahelian and Sudanian ecozones of Mali. **Canadian Journal of Forest Research**, v.43, n.6, p.552-562, 2013.

SOUZA, B. R. G. **Balata**: da floresta à feira. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia) - Universidade Federal do Oeste do Pará. Santarém, 2018.

SOUZA, M.J.C.; SILVA, K.S.; PERDIGÃO, C.R.V.; SILVAN, G.R.; MELO, L.E.L. **Anatomia do lenho carbonizado de espécies madeireiras comercializadas na Amazônia**. Boletim Técnico nº 8 – Fundação Casa da Cultura de Marabá, 2015.

STANGERLIN, D. M.; COSTA, A. F.; GONÇALEZ, J. C.; PASTORE, T. C. M.; GARLET, A. Monitoramento da biodeterioração da madeira de três espécies amazônicas pela técnica da colorimetria. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 4, p.429 – 438 2013.

STEVENS, P. F. (2001 onwards). **Angiosperm Phylogeny Website**. Version 14, July 2017. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.

SWENSON, U.; ANDERBERG, A. A. Phylogeny, character evolution, and classification of Sapotaceae (Ericales). **Cladistics**, v. 21, n. 2, p. 101-130, 2005.

TSUCHIKAWA, S.; KOBORI, H. A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. **Journal of Wood Science**, v.61, n.3, p. 213-220, 2015.

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO BRASIL. Reserva Extrativista Verde para Sempre. s/d. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/arp/4247>.

VALVERDE, J.C.; MOYA, R. Correlation and modeling between color variation and quality of the surface between accelerated and natural tropical weathering in *Acacia mangium*, *Cedrela odorata* and *Tectona grandis* wood with two coating. **Color Research and Application**, v.39, n.5, p.519-529, 2014.

VANCLAY, J.K.; HENSON, M.; PALMER, G. Color variation and correlations in *Eucalyptus dunnii* sawnwood. **Journal of Wood Science**, v.54, n.6, p.431-435, 2008.

VIA AMAZÔNIA. ‘Resex Verde Para Sempre’ – Sobrevivência Ameaçada! Revista Via Amazônia. 08 de janeiro de 2016. Online. Disponível em: <<http://revistaviaamazonia.blogspot.com/2016/01/resex-verde-para-sempre-sobrevivencia.html>>.

VIEIRA, H. C.; SILVA, E.L.; SANTOS, J.X.; MUÑIZ, G.I.B.; MORRONE, S.R.; NISGOSKI, S. Wood colorimetry of native species of Myrtaceae from an Araucaria forest. **Floresta**, v. 49, n. 2, p. 353-362, 2019a.

VIEIRA, H.C.; SANTOS, J.X.; SILVA, E.L.; RIOS, P.DA. MUÑIZ, G.I.B.; MORRONE, S.R.; NISGOSKI, S. Potential of the near-infrared spectroscopy for the discrimination of wood and charcoal of four native Myrtaceae species in southern Brazil, *Wood Material Science & Engineering*, 2019b.

VIVAS, C. V.; MORAES, R. C. S.; ALVES-ARAÚJO, A.; ALVES, M.; MARIANO-NETO, E.; VAN DEN BERG, C.; GAIOTT, F. A. DNA barcoding in Atlantic Forest plants: What is the best marker for Sapotaceae species identification?. **Genetics and molecular biology**, v. 37, n. 4, p. 662-670, 2014

WATRIN, O.S.; OLIVEIRA, P.M. Levantamento do uso e cobertura da terra em áreas da Reserva Extrativista Verde para Sempre, Porto de Moz, PA. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 36p.

WHEELER, E. A.; BAAS, P. Wood identification - A review. **IAWA Journal**, v.19, n.3, p. 241–264, 1998.

X-RITE. Tolerancing in Flexo and Offset Printing. 2015. Disponível em:

<<https://www.xrite.com/blog/tolerancing-in-flexo-and-offset-printing>>.

YANG Z; LIU Y; PANG X; LI, K. Preliminary investigation into the identification of wood species from different locations by near infrared spectroscopy. **BioResources**, v.10, p. 8505-8517, 2015.

ZAQUE, L. A. M.; MELO, R. R.; SOUZA, E. C.; JUNIOR, L. S. Caracterização colorimétrica e da massa específica das madeiras comercializadas no Mato Grosso. **Revista Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science), v. 10, n. 3, p. 236-249, 2019.

ZHANG, X.; YU, H.; LI, B.; LI, W. J.; LI, X.; BAO, C. Discrimination of *Pinus yunnanensis*, *P. kesiya* and *P. densata* by FT-NIR. **Journal Chemical Pharmaceutical Resources**, v.6, n.4, p.142-149, 2014.