

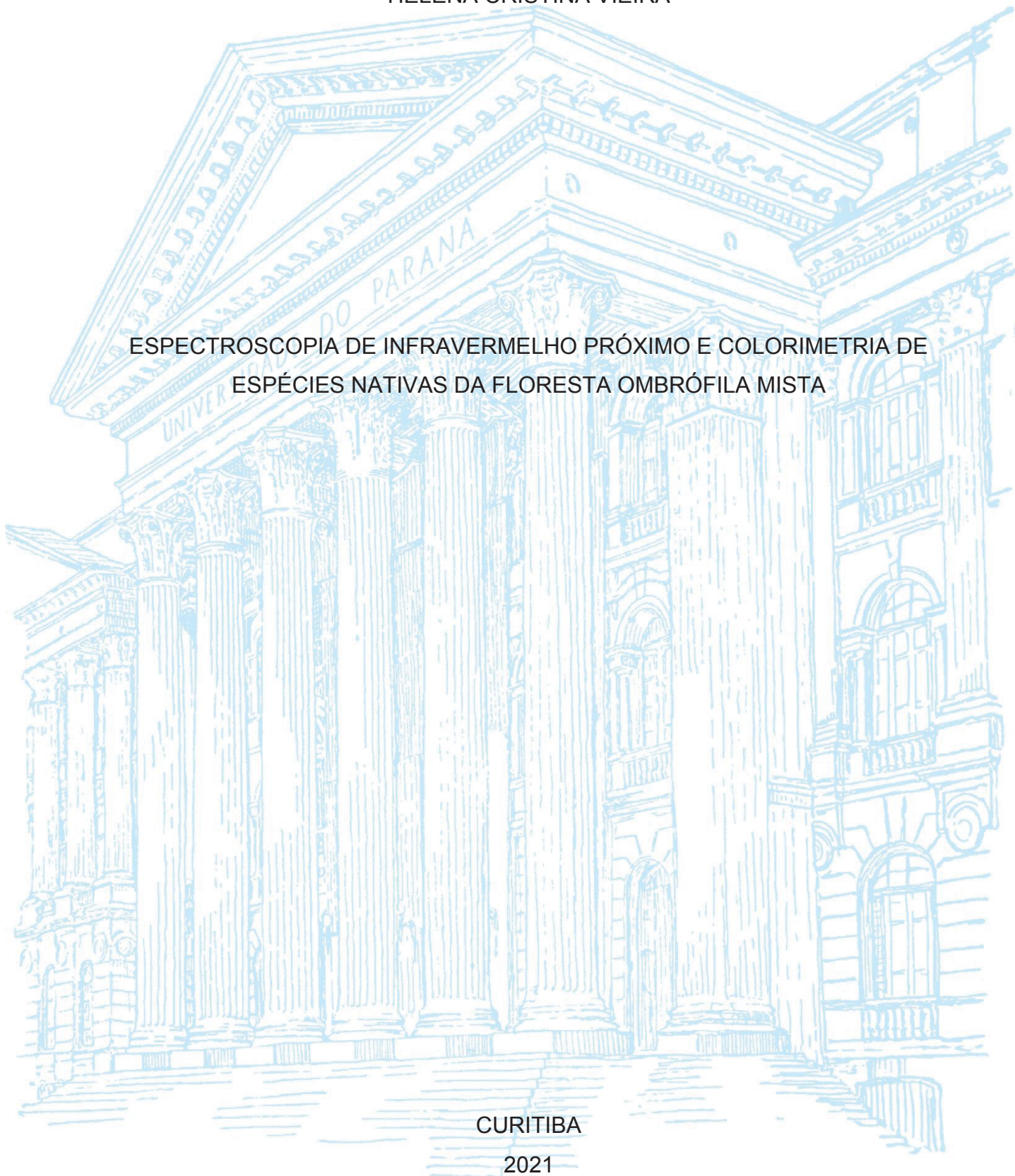
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

HELENA CRISTINA VIEIRA

ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO E COLORIMETRIA DE
ESPÉCIES NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

CURITIBA

2021



HELENA CRISTINA VIEIRA

ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO E COLORIMETRIA DE
ESPÉCIES NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

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

Orientadora: Profa. Dra. Silvana Nisgoski.

Coorientadoras: Profa. Dra. Graciela Inés Bolzon de Muñiz e Profa. Dra. Simone Ribeiro Morrone.

CURITIBA

2021

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

Vieira, Helena Cristina

Espectroscopia de infravermelho próximo e colorimetria de espécies nativas da Floresta Ombrófila Mista / Helena Cristina Vieira. – Curitiba, 2021.

180 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Silvana Nisgoski

Coorientadoras: Profa. Dra. Graciela Inés Bolzon de Muñiz

Profa. Dra. Simone Ribeiro Morrone

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Defesa: Curitiba, 30/08/2021.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Madeira - Identificação. 2. Árvores - Identificação. 3. Colorimetria.
4. Espectroscopia infravermelho. 5. Carvão vegetal. 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 – 634.0.861.0

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 tese de Doutorado de **HELENA CRISTINA VIEIRA** intitulada: **ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO E COLORIMETRIA DE ESPÉCIES NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA**, 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 doutor 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, 30 de Agosto de 2021.

Assinatura Eletrônica

30/08/2021 16:58:48.0

SILVANA NISGOSKI

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

31/08/2021 17:11:14.0

MAYARA ELITA CARNEIRO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

31/08/2021 14:18:42.0

MARTHA ANDREIA BRAND

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA)

Assinatura Eletrônica

30/08/2021 17:05:03.0

PATRICIA SOFFIATTI

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

31/08/2021 14:58:00.0

LÍVIA CÁSSIA VIANA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS)

Avenida Lothário Meissner, 632 - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 80210-170 - Tel: (41) 3360-4212 - E-mail: pgfloresta@gmail.com
Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 108927

Para autenticar este documento/assinatura, acesse
<https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp>
e insira o código 108927

Dedico este trabalho a todos aqueles que contribuíram com sua realização.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente gostaria de agradecer à Deus por todas as oportunidades.

À minha mãe Maria Inês Cecato Costa pelo apoio e incentivo em todas as etapas da minha vida, serei eternamente grata.

À minha irmã Ana Claudia Vieira, por estar sempre ao meu lado e me ajudar em todas as escolhas difíceis.

Aos demais familiares que apoiaram todas as etapas de estudo concluídas até então.

À minha orientadora, professora Dr^a Silvana Nisgoski por todos os ensinamentos, confiança, suporte e ajuda durante todo o doutorado.

Às Coorientadoras Professora Dr^a Graciela Inés Bolzon de Muñiz e Dr^a Simone Ribeiro Morrone por aceitarem fazer parte dessa etapa importante da minha vida.

Aos membros da banca pela participação e correções durante a defesa.

Aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná por todos os ensinamentos.

Aos Professores e alunos da Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e da Universidade do Estado de Santa Catarina, pelo apoio durante esse período.

À professora Dr^a Polliana D'Angelo Rios pelo fornecimento do material da pesquisa e pelo companheirismo de sempre.

Aos meus grandes amigos Tawani Naide, Joielan Xipaia dos Santos, Dr^o Deivison Venício de Souza, Talitha Rosa e Ângela Maria Stupp pela parceria no laboratório e na vida.

Aos amigos e colegas de laboratórios (Mariuce Torres, Vinícius Rosa, Giuliano Ferreira Pereira, Eliane Silva, Cibelle Amaral Reis, Rafaela Stange, Angela Schütz, Lia Wilma) meu sincero agradecimento pelo companheirismo durante todos esses anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de estudos durante o doutorado.

Por fim, meus agradecimentos a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

“Obrigado a todas as pessoas que contribuíram para meu sucesso e para meu crescimento como pessoa. Sou o resultado da confiança e da força de cada um de vocês.”

Augusto Branco

RESUMO

Considerando a necessidade de identificar as espécies florestais utilizando somente a madeira ou o carvão, esse trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de utilização da colorimetria (na madeira) e da espectroscopia no infravermelho próximo (na madeira e no carvão) para diferenciar onze espécies nativas da Floresta Ombrófila Mista (*Campomanesia xanthocarpa* Berg, *Eugenia pyriformis* Cambess., *Inga vera* Willd., *Muelleria campestris* Mart. ex Benth., *Machaerium paraguariense* Hassl., *Myrcia retorta* Cambess., *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez, *Ocotea indecora* (Schott) Mez, *Ocotea diospyrifolia* (Meisn.) Mez, *Ocotea puberula* (Rich.) Nees e *Plinia peruviana* (Poir.) Govaerts). Foram utilizados discos de madeira obtidos no diâmetro à altura do peito de 33 indivíduos, sendo três por espécie. Inicialmente, foram realizadas as análises para a madeira, posteriormente, essas amostras foram carbonizadas e procedeu-se as análises da espectroscopia no infravermelho próximo do carvão. De maneira geral, foram observadas semelhanças entre as madeiras e os carvões das espécies analisadas, principalmente, ao avaliar visualmente os espectros obtidos nas regiões do visível (para a madeira) e na região do infravermelho próximo (para a madeira e o carvão). Sendo assim, foi necessário utilizar diferentes técnicas quimiométricas associadas com a colorimetria (para a madeira) e a espectroscopia no Infravermelho Próximo (para a madeira e o carvão) para avaliar o potencial de utilização dessas técnicas para a identificação das espécies. Deve-se salientar ainda, que cada Família botânica apresentou uma tendência específica. Assim, são necessárias novas pesquisas que objetivem determinar uma análise estatística que seja capaz de apresentar resultados satisfatórios para todas as famílias.

Palavras-chave: Carvão. Identificação de espécies. Madeira.

ABSTRACT

Considering the need to identify forest species using only wood or charcoal, this study aimed to evaluate the potential use of colorimetry (on wood) and near infrared spectroscopy (on wood and charcoal) to differentiate eleven native species of the Araucaria Forest (*Campomanesia xanthocarpa* Berg, *Eugenia pyriformis* Cambess., *Inga vera* Willd., *Muelleria campestris* Mart. ex Benth., *Machaerium paraguariense* Hassl., *Myrcia retorta* Cambess., *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez, *Ocotea indecora* (Schott) Mez, *Ocotea diospyrifolia* (Meisn.) Mez, *Ocotea puberula* (Rich.) Nees and *Plinia peruviana* (Poir.) Govaerts). Wooden discs obtained in diameter at breast height of 33 individuals were used, 3 per species. Initially, the analyzes were carried out for the wood, later, these samples were carbonized and the charcoal analyzes were carried out. In general, similarities were observed between wood and charcoal of the analyzed species, mainly in the visual evaluation of the spectra obtained in the visible regions (for wood) and in the near infrared region (for wood and charcoal). Therefore, it was necessary to use different chemometric techniques associated with colorimetry (for wood) and Near Infrared spectroscopy (for wood and charcoal) to assess the potential use of these techniques for species identification. It should also be noted that each botanical family presented a specific trend. Thus, further research is needed to determine a statistical analysis that is capable of providing satisfactory results for all families.

Keywords: Charcoal. Species identification. Wood.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- FIGURA 2. 1 - SEÇÃO TRANSVERSAL DOS DISCOS DAS ESPÉCIES (A) *Campomanesia xanthocarpa* Berg, (B) *Eugenia pyriformis* Cambess., (C) *Myrcia retorta* Cambess. e (D) *Plinia peruviana* (Poir.) Govaert. Barras = 5 cm.....44
- FIGURA 2. 2 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA OS ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA NO VÍSEL ORIGINALS MÉDIOS DAS ESPÉCIES DE MYRTACEAE.52
- FIGURA 2. 3 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) PARA OS PARÂMETROS L*, a* E b* DAS ESPÉCIES DE MYRTACEAE.....53
- FIGURA 2. 4 - ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL ORIGINALS MÉDIOS DAS ESPÉCIES DE MYRTACEAE.54
- FIGURA 2. 5 - MÉDIAS DOS ESPECTROS NIR ORIGINALS DA MADEIRA (A) E DO CARVÃO (B) DE *Campomanesia xanthocarpa*, *Eugenia pyriformis*, *Myrcia retorta* E *Plinia peruviana*.56
- FIGURA 2. 6 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS COM ESPECTROS NIR DAS ESPÉCIES DE MYRTACEAE.....57
- FIGURA 2. 7 - GRÁFICO DE LOADINGS DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (PC 1 E PC 2), UTILIZANDO OS ESPECTROS NIR EM SEGUNDA DERIVADA DA MADEIRA DE *Campomanesia xanthocarpa*, *Eugenia pyriformis*, *Myrcia retorta* E *Plinia peruviana*.....59
- FIGURA 2. 8 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS, UTILIZANDO OS ESPECTROS NIR MÉDIOS EM SEGUNDA DERIVADA DAS ESPÉCIES DE MYRTACEAE PARA A MADEIRA E O CARVÃO NOS DIFERENTES PLANOS ANATÔMICOS.....60

FIGURA 2. 9 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS, UTILIZANDO OS ESPECTROS NIR MÉDIOS PARA MADEIRA E PARA O CARVÃO DAS ESPÉCIES DE MYRTACEAE NAS DIFERENTES POSIÇÕES DO TRONCO.	62
--	----

CAPÍTULO 3

FIGURA 3. 1 - EXEMPLARES DOS DISCOS DE FABACEAE UTILIZADOS NO CAPÍTULO.....	74
FIGURA 3. 2 - COMPARAÇÃO ENTRE AS LUMINOSIDADES (L*) DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.....	79
FIGURA 3. 3 - COMPARAÇÃO ENTRE A COORDENADA CROMÁTICA a* DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE	81
FIGURA 3. 4 - COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS CROMÁTICAS b* DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.....	83
FIGURA 3. 5 - COMPARAÇÃO ENTRE A SATURAÇÃO (C*) DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.....	84
FIGURA 3. 6 - COMPARAÇÃO ENTRE OS ÂNGULOS DE TINTA (h) DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.....	85
FIGURA 3. 7 – ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL MÉDIOS DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.....	86
FIGURA 3. 8 – GRÁFICO DE ESCORE Da ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) UTILIZANDO OS ESPECTROS ORIGINAIS DA COR DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE	87
FIGURA 3. 9 - <i>LOADINGS</i> , DA PC1 E PC2, RESULTANTES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) REALIZADA COM OS ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.....	89
FIGURA 3. 10 – GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) UTILIZANDO OS ESPECTROS DA COR EM	

SEGUNDA DERIVADA DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.....	90
FIGURA 3. 11 - <i>LOADINGS</i> , DA PC1 E PC2, RESULTANTES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) REALIZADA COM OS ESPECTROS DA COR EM SEGUNDA DERIVADA, DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.....	90
FIGURA 3. 12 - ESPECTROS NIR ORIGINAIS MÉDIOS DA MADEIRA E DO CARVÃO DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.....	92
FIGURA 3. 13 - ESPECTROS NIR DA MADEIRA E DO CARVÃO EM SEGUNDA DERIVADA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.	93
FIGURA 3. 14 – GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) COM ESPECTROS NIR PARA AS ESPÉCIES DE FABACEAE.....	95

CAPÍTULO 4

FIGURA 4. 1 - AMOSTRA DE PARTE DA SEÇÃO TRANSVERSAL DOS DISCOS UTILIZADOS PARA AS ESPÉCIES DE LAURACEAE.....	110
FIGURA 4. 2 - ESPECTROS MÉDIOS NA REGIÃO DO VISÍVEL DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.	120
FIGURA 4. 3 - REPRESENTAÇÃO DOS ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL MÉDIOS NAS POSIÇÕES DO DISCO (CASCA, INTERMEDIÁRIA E MEDULA) E NOS PLANOS ANATÔMICOS (TRANSVERSAL, RADIAL E TANGENCIAL) PARA AS ESPÉCIES DE LAURACEAE.	121
FIGURA 4. 4 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS COM OS ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL MÉDIOS PARA AS ESPÉCIES DE LAURACEAE.	122
FIGURA 4. 5 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS COM OS ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL EM SEGUNDA DERIVADA.	123

FIGURA 4. 6 - ESPECTRO MÉDIO OBTIDO NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO DA MADEIRA E DO CARVÃO DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE...	126
FIGURA 4. 7 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS NIR ORIGINAIS DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.....	127
FIGURA 4. 8 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS NIR ORIGINAIS DO CARVÃO DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE ANALISADAS.....	128
FIGURA 4. 9 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS NIR TRANSFORMADOS EM SEGUNDA DERIVADA DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.....	129
FIGURA 4. 10 – GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS TRANSFORMADOS EM SEGUNDA DERIVADA DO CARVÃO DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.....	130
FIGURA 4. 11 - RESULTADO DA PREDIÇÃO UTILIZANDO O MODELO k-NN CONSTRUÍDO COM OS DADOS DA MADEIRA E DO CARVÃO ORIGINAIS E TRANSFORMADOS EM SEGUNDA DERIVADA PARA AS ESPÉCIES DE LAURACEAE.....	132

CAPÍTULO 5

FIGURA 5. 1 - ESPECTROS MÉDIOS OBTIDOS PARA A MADEIRA NA REGIÃO DO VISÍVEL DAS FAMÍLIAS NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.....	152
FIGURA 5. 2 - ESPECTROS MÉDIOS OBTIDOS PARA A MADEIRA NA REGIÃO DO VISÍVEL DAS ESPÉCIES NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.....	153

FIGURA 5. 3 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS ORIGINAIS MÉDIOS DA REGIÃO DO VISÍVEL DA MADEIRA DAS ESPÉCIES E DAS FAMÍLIAS AVALIADAS.	154
FIGURA 5. 4 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS TRANSFORMADOS EM SEGUNDA DERIVADA, MÉDIOS DA REGIÃO DO VISÍVEL DA MADEIRA DAS ESPÉCIES E DAS FAMÍLIAS AVALIADAS.....	155
FIGURA 5. 5 - ESPECTROS NIR MÉDIOS DA MADEIRA DAS FAMÍLIAS NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.	156
FIGURA 5. 6 - ESPECTROS NIR MÉDIOS DA MADEIRA DAS ESPÉCIES NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.	157
FIGURA 5. 7 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS NIR ORIGINAIS MÉDIOS DA MADEIRA DAS ESPÉCIES E DAS FAMÍLIAS AVALIADAS.....	158
FIGURA 5. 8 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS NIR MÉDIOS TRANSFORMADOS EM SEGUNDA DERIVADA DA MADEIRA DAS ESPÉCIES E DAS FAMÍLIAS AVALIADAS.	159
FIGURA 5. 9 - ESPECTROS NIR MÉDIOS DO CARVÃO DAS FAMÍLIAS NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.	160
FIGURA 5. 10 - ESPECTROS NIR MÉDIOS DO CARVÃO DAS ESPÉCIES NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.	161
FIGURA 5. 11 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS NIR ORIGINAIS MÉDIOS DO CARVÃO DAS ESPÉCIES E DAS FAMÍLIAS AVALIADAS.....	162
FIGURA 5. 12 – GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS	

NIR MÉDIOS TRANSFORMADOS EM SEGUNDA DERIVADA DO
CARVÃO DAS ESPÉCIES E DAS FAMÍLIAS AVALIADAS..... 163

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

TABELA 1. 1 - GRUPOS DE CORES OBTIDOS POR CAMARGOS E GONÇALEZ (2001) UTILIZANDO AS VARIÁVEIS CROMÁTICAS L, a*, b*, C* E h.	24
---	----

CAPÍTULO 2

TABELA 2. 1 - INFORMAÇÕES SOBRE OS NOMES CIENTÍFICOS E POPULARES DAS ESPÉCIES DE MYRTACEAE, O NÚMERO DO REGISTO NO HERBÁRIO LUSC DAS AMOSTRAS, O DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) DAS ÁRVORES, AS COORDENADAS GEOGRÁFICAS E A ALTITUDE DO LOCAL DE COLETA.....	43
TABELA 2. 2 - VALORES MÉDIOS DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS OBTIDOS PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES DE MYRTACEAE...	46
TABELA 2. 3 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO L*, a* E b* PARA TODAS AS ESPÉCIES DE MYRTACEAE NAS DIFERENTES POSIÇÕES DO TRONCO (PRÓXIMOS À CASCA, INTERMEDIÁRIO E PRÓXIMO À MEDULA) E NOS DIFERENTES PLANOS DE CORTE (TRANSVERSAL, RADIAL E TANGENCIAL).	48
TABELA 2. 4 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO C* E h PARA TODAS AS ESPÉCIES DE MYRTACEAE NAS DIFERENTES POSIÇÕES DO TRONCO (PRÓXIMOS À CASCA, INTERMEDIÁRIO E PRÓXIMO À MEDULA) E NOS DIFERENTES PLANOS DE CORTE (TRANSVERSAL, RADIAL E TANGENCIAL).	49
TABELA 2. 5 - RESUMO DO COMPORTAMENTO DAS ESPÉCIES DE MYRTACEAE, QUANDO AVALIADO O ESPECTRO NIR EM SEGUNDA DERIVADA.	63

CAPÍTULO 3

TABELA 3. 1 - INFORMAÇÕES SOBRE OS NOMES CIENTÍFICOS E POPULARES DAS ESPÉCIES, O NÚMERO DO REGISTRO NO HERBÁRIO LUSC DAS AMOSTRAS, O DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) DAS ÁRVORES E AS COORDENADAS GEOGRÁFICAS.	73
TABELA 3. 2 - COMPARAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS COLORIMÉTRICAS MÉDIAS DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.	77
TABELA 3. 3 - RESULTADOS DE ACURÁCIA E PRECISÃO PARA OS MODELOS DE PREDIÇÃO k-NN, SVM E ANN PARA A MADEIRA E O CARVÃO UTILIZANDO OS ESPECTROS NIR ORIGINAIS E EM SEGUNDA DERIVADA.....	96

CAPÍTULO 4

TABELA 4. 1 - INFORMAÇÕES SOBRE OS NOMES CIENTÍFICOS E POPULARES DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE, O NÚMERO DO REGISTRO NO HERBÁRIO LUSC DAS AMOSTRAS, O DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) DAS ÁRVORES E AS COORDENADAS GEOGRÁFICAS.....	109
TABELA 4. 2 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.	114
TABELA 4. 3 - MÉDIAS DE L*, a* E b* PARA AS DIFERENTES POSIÇÕES NO TRONCO (CASCA, INTERMEDIÁRIO E MEDULA) E PARA OS DIFERENTES PLANOS (TRANSVERSAL, RADIAL E TANGENCIAL) NAS MADEIRAS DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.	117
TABELA 4. 4 - MÉDIAS DE C* E h PARA AS POSIÇÕES NO TRONCO (CASCA, INTERMEDIÁRIO E MEDULA) E OS PLANOS ANATÔMICOS (TRANSVERSAL, RADIAL E TANGENCIAL) NAS MADEIRAS DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.....	118
TABELA 4. 5 - RESULTADOS DE ACURÁCIA PARA OS MODELOS DE DISCRIMINAÇÃO TESTADOS COM OS ESPECTROS DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.....	124

TABELA 4. 6 - RESULTADOS DE ACURÁCIA DO MODELO DISCRIMINANTE k-NN.	131
---	-----

CAPÍTULO 5

TABELA 5. 1 - DADOS DAS ESPÉCIES NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ANALISADAS.....	147
TABELA 5. 2 - COMPARAÇÃO ENTRE AS FAMÍLIAS PARA OS DIFERENTES PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS.	150
TABELA 5. 3 - COMPARAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS DA MADEIRA DAS ESPÉCIES PARA OS DIFERENTES PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS.....	151
TABELA 5. 4 - VALORES DE ACURÁCIA (%) PARA O MODELO DISCRIMINANTE k-NN PARA IDENTIFICAR AS FAMÍLIAS E AS ESPÉCIES DAS AMOSTRAS.....	164

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANN	-	<i>Artificial Neural Network</i> – Redes neurais artificiais
C	-	Amostra retirada da região próxima à casca
DAP	-	Diâmetro à Altura do Peito
I	-	Amostra retirada da região intermediária, entre a casca e a medula
k-NN	-	<i>K Nearest Neighbour</i> – Vizinho mais próximo
LUSC	-	Herbário Lages da Universidade do Estado de Santa Catarina
M	-	Amostra retirada da região próxima à medula
MIR	-	<i>Medium Infrared Spectra</i> – espectro em infravermelho médio
NIR	-	Espectroscopia no infravermelho próximo
PCA	-	Análise dos Componentes Principais
PLS-DA	-	<i>Partial Least Squares Discriminant Analysis</i> – análise discriminante por soma dos quadrados parciais
R	-	Plano Radial
SVM	-	<i>Support Vector Machine</i>
T	-	Plano Tangencial
X	-	Plano transversal

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	15
OBJETIVOS	17
Objetivo geral.....	17
Objetivos específicos.....	17
ESTRUTURA DA TESE	18
CAPÍTULO 1	20
REVISÃO DE LITERATURA	20
1.1 FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.....	20
1.2 TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA	23
1.2.1 Colorimetria e Espectroscopia no visível.....	23
1.2.2 Espectroscopia no infravermelho próximo.....	26
REFERÊNCIAS	30
CAPÍTULO 2	38
ESPECTROSCOPIA E COLORIMETRIA DA MADEIRA DE ESPÉCIES DA FAMÍLIA MYRTACEAE	38
RESUMO	39
ABSTRACT	40
2.1 INTRODUÇÃO	41
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
2.2.1 Colorimetria – espectroscopia no visível.....	44
2.2.2 Espectroscopia no infravermelho próximo.....	45
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46

2.3.1	Colorimetria	46
2.3.2	Espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)	55
	REFERÊNCIAS	65
 CAPÍTULO 3		68
	ESPECTROSCOPIA E COLORIMETRIA DA MADEIRA DE ESPÉCIES DA FAMÍLIA FABACEAE	68
	RESUMO	69
	ABSTRACT	70
3.1	INTRODUÇÃO	71
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	73
3.2.1	Análise da colorimetria	74
3.2.2	Análise da Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR)	75
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
3.3.1	Parâmetros colorimétricos médios das espécies	77
3.3.2	Espectroscopia no infravermelho próximo	91
3.4	CONCLUSÕES	98
	REFERÊNCIAS	99
 CAPÍTULO 4		104
	ESPECTROSCOPIA E COLORIMETRIA DA MADEIRA DE ESPÉCIES DA FAMÍLIA LAURACEAE	104
	RESUMO	105
	ABSTRACT	106
4.1	INTRODUÇÃO	107
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	109
4.2.1	Análise dos parâmetros colorimétricos	110

4.2.2	Análise da espectroscopia no infravermelho próximo	112
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	114
4.3.1	Análise dos parâmetros colorimétricos	114
4.3.2	Análise da espectroscopia no Infravermelho próximo	125
4.4	CONCLUSÕES	134
	REFERÊNCIAS	136
CAPÍTULO 5		141
	AVALIAÇÃO DA COLORIMETRIA E DA ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO DE FAMÍLIAS BOTÂNICAS NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	141
	RESUMO	142
	ABSTRACT	143
5.1	INTRODUÇÃO	144
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	146
5.2.1	Análise dos parâmetros colorimétricos	146
5.2.2	Análise da espectroscopia no infravermelho próximo	149
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	150
5.4	CONCLUSÕES	165
	REFERÊNCIAS	166
	CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES	169
	REFERÊNCIAS GERAIS	170

INTRODUÇÃO GERAL

Considerando a alta biodiversidade existente na Floresta Ombrófila Mista e a redução na quantidade de remanescentes florestais deste tipo de floresta, fica evidente que a utilização dos indivíduos deve ser feita de maneira adequada e legal. Destaca-se ainda, que na Floresta Ombrófila Mista são observadas espécies nativas que são ameaçadas de extinção. Deste modo, a fiscalização e o controle dos produtos madeireiros comercializados ilegalmente são necessários e difíceis, principalmente porque materiais vegetativos (folhas) e reprodutivos (frutos e flores) das árvores podem estar ausentes durante todo o processo. Nesses casos, muitas vezes a anatomia da madeira pode ser considerada uma técnica viável para a identificação de espécies. Porém para que a identificação seja feita de forma precisa, é necessário alto nível de experiência do identificador, o tempo de análise pode ser longo e em alguns casos, pode não ser possível fazer a identificação à nível de espécie.

Dessa forma, a utilização de técnicas alternativas para a identificação de espécies pode ser um potencial para facilitar o processo e aumentar a sua precisão. Dentre as novas técnicas destacam-se a utilização da colorimetria e da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) por serem métodos não destrutivos, rápidos e possuírem uma ampla gama de possíveis usos.

Quando considerado o potencial da colorimetria para pesquisas relacionadas com madeira, alguns trabalhos se destacam, dentre eles, Pastore, Santos e Rubim (2004) que utilizaram os resultados espectrocolorimétricos para avaliar o efeito da irradiação ultravioleta em quatro madeiras tropicais e Cademartori et al. (2013) que verificaram a variação dos parâmetros colorimétricos após o tratamento térmico nas madeiras de *Eucalyptus grandis*. Além disso, diversos trabalhos já utilizaram a colorimetria para descrever as madeiras de espécies florestais (SILVA et al., 2017; SILVA et al., 2015).

Contudo, deve-se salientar que a cor da madeira sofre influência de diversos fatores, como posição no tronco (MOYA et al., 2012), seção anatômica (ATAYDE, GONÇALEZ e CAMARGOS, 2011), entre outros fatores. Nesse sentido, ainda são poucos os estudos realizados com a técnica colorimétrica para verificar o comportamento da cor da madeira das espécies nativas da região Sul do Brasil. Destacam-se os trabalhos realizados por: Vieira et al. (2019) para a distinção da madeira de espécies de Myrtaceae nativas da Floresta Ombrófila Mista e Silva et al. (2015) para a colorimetria da madeira de oito espécies nativas do estado do Rio

Grande do Sul. Contudo, ainda são poucos os trabalhos publicados que utilizavam a madeira das espécies da Floresta Ombrófila Mista.

Quando considerada a Espectroscopia no infravermelho próximo, a situação é semelhante. Destacam-se os trabalhos de Vieira et al. (2021) para a distinção da madeira e do carvão de espécies de Myrtaceae da Floresta Ombrófila Mista e o trabalho realizado por Pace et al. (2019) com a utilização da técnica para identificar madeiras da mata Atlântica.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi verificar o potencial de utilização da colorimetria e espectroscopia da madeira para diferenciar as espécies nativas da Floresta Ombrófila Mista.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Verificar o potencial de utilização da colorimetria (na madeira) e da espectroscopia no infravermelho próximo (na madeira e no carvão) para diferenciar as espécies nativas da Floresta Ombrófila Mista.

Objetivos específicos

- Avaliar a colorimetria das madeiras das espécies *Campomanesia xanthocarpa*, *Myrcia retorta*, *Plinia peruviana* e *Eugenia pyriformis* (Família Myrtaceae); *Inga vera*, *Machaerium paraguariense* e *Muelleria campestris* (Família Fabaceae); *Nectandra megapotamica*, *Ocotea diospyrifolia*, *Ocotea indecora* e *Ocotea puberula* (Família Lauraceae);
- Avaliar os espectros obtidos na região do infravermelho próximo das madeiras e do carvão das espécies *Campomanesia xanthocarpa*, *Myrcia retorta*, *Plinia peruviana* e *Eugenia pyriformis* (Família Myrtaceae); *Inga vera*, *Machaerium paraguariense* e *Muelleria campestris* (Família Fabaceae); *Nectandra megapotamica*, *Ocotea diospyrifolia*, *Ocotea indecora* e *Ocotea puberula* (Família Lauraceae);
- Avaliar a influência do plano de corte (transversal, radial e tangencial) e da posição radial no fuste (próxima da medula, intermediária e próxima da casca) nas diferentes espécies em relação à colorimetria e espectroscopia no infravermelho próximo;
- Avaliar diferentes métodos de classificação ou análise das espécies da Floresta Ombrófila Mista;
- Verificar o comportamento médio das espécies nativas da Floresta Ombrófila Mista utilizando a colorimetria da madeira e os espectros da madeira e do carvão obtidos na região do infravermelho próximo.

ESTRUTURA DA TESE

O conteúdo desta tese foi dividido em 5 capítulos. No capítulo 1, é apresentada uma breve revisão de literatura sobre a Floresta Ombrófila Mista e sobre as técnicas não destrutivas utilizadas para a madeira e para o carvão das espécies analisadas.

Os capítulos 2, 3 e 4, representam respectivamente, as avaliações realizadas para as Famílias Myrtaceae, Fabaceae e Lauraceae. Nestes capítulos são discutidos os aspectos relacionados com a colorimetria da madeira e os espectros obtidos na região do infravermelho próximo para a madeira e o carvão das espécies nativas da Floresta Ombrófila Mista.

No capítulo 5, é realizada uma avaliação geral sobre o comportamento de todas as famílias analisadas, considerando a colorimetria da madeira e os espectros obtidos na região do infravermelho próximo para a madeira e o carvão.

REFERÊNCIAS

- ATAYDE, C.M.; GONÇALEZ, J.C.; CAMARGOS, J.A.A. Características colorimétricas entre as seções anatômicas da madeira de muirapiranga (*Brosimum* sp.). **Cerne**, v. 17, n. 2, p. 231-235, 2011.
- 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.
- 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.
- PACE, J. H. C.; DE FIGUEIREDO LATORRACA, J. V.; HEIN, P. R. G.; DE CARVALHO, A. M.; CASTRO, J. P.; DA SILVA, C. E. S. Wood species identification from Atlantic forest by near infrared spectroscopy. **Forest systems**, v. 28, n. 3, e015, 2019.
- PASTORE, T. C.M.; SANTOS, K. O.; RUBIM, J. C. A spectrophotometric study on the effect of ultraviolet irradiation of four tropical hardwoods. **Bioresource technology**, v. 93, n. 1, p. 37-42, 2004.
- 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. **Revista 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. **Revista Ciência da Madeira**, v. 8, n. 1, p. 36-41, 2017.
- VIEIRA, H. C.; SANTOS, J. X. D.; LOPES DA SILVA, E.; D'ANGELO RIOS, P.; DE MUÑIZ, G. I. B.; RIBEIRO MORRONE, S.; 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**, v. 16, n. 3, p. 188-195, 2021.
- VIEIRA, H. C.; SILVA, E. L.; SANTOS, J. X.; MUÑIZ, G. I. B.; MORRONE, S. M.; NISGOSKI, S. Wood colorimetry of native species of Myrtaceae from a Araucaria forest. **Floresta**, v. 49, n. 2, p. 353-362, 2019.

CAPÍTULO 1

REVISÃO DE LITERATURA

1.1 FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Sabe-se que o Brasil é destaque mundial pela sua biodiversidade. De acordo com os dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012), a flora nativa está subdividida em seis biomas com aspectos distintos e que abrangem diferentes estados:

1. Amazônia: Amazonas, Roraima, Amapá, Acre, Rondônia, Pará.
2. Caatinga: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí, Sergipe e o norte de Minas Gerais.
3. Cerrado: Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal, além dos encaves no Amapá, Roraima e Amazonas.
4. Pampa: Rio Grande do Sul.
5. Pantanal: Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.
6. Mata Atlântica: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro, Minas gerais, Espírito Santo, Bahia, Alagoas, Sergipe, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí.

Entre todos os Biomas, Rosario et al. (2020) destacam a importância e a necessidade de conscientização e incentivo da preservação da Mata Atlântica. Os autores ainda relatam que houve grande perda de área Florestal, principalmente pelo alto índice populacional que é observado nas áreas de ocorrência desta tipologia. Atualmente, são encontrados poucos fragmentos florestais que conservam a grande biodiversidade existente nesta tipologia. Assim, são necessários trabalhos de pesquisa para obter o seu conhecimento completo (ALMEIDA, 2016).

De acordo com o Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, divulgado pela Fundação SOS Mata Atlântica (ATLÂNTICA, 2019), no período de 2017 a 2018, a área de remanescentes desflorestada foi de 11.399 hectares. Além disso, o mesmo relatório atribui a taxa de 13,1% de áreas naturais de Mata Atlântica no Brasil.

Alguns trabalhos publicados buscam metodologias para restaurar e conservar a Mata Atlântica. Dentre eles destacam-se os trabalhos de Trentin et al. (2018) que

avaliaram o potencial de restauração utilizando as metodologias de restauração passiva, de nucleação e o plantio de alta diversidade e Guimarães (2005) que relatou os desafios encontrados na conservação e na recuperação da Mata Atlântica. Considerando a restauração, Fockink et al. (2020) descreveram quais são as espécies prioritárias para a Floresta Ombrófila Mista Montana e Alto-montana na Bacia Hidrográfica do rio Canoas.

Uma outra característica importante da Mata Atlântica é ser composta, por diferentes formações florestais nativas: Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual.

Dentre essas, a Floresta Ombrófila Mista destaca-se pela alta diversidade e ampla distribuição. Sendo também conhecida como “pinheiral” ou “mata-de-araucária”, é uma vegetação típica do Planalto Meridional com disjunções florísticas nas Serras do Mar e da Mantiqueira (IBGE, 2012).

Originalmente, eram encontrados fragmentos de Floresta Ombrófila Mista nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais e no Rio de Janeiro (KLEIN, 1960). Muitas pesquisas já comprovaram a importância dessa floresta em relação ao número de espécies. Estudos foram realizados em diferentes fragmentos, com áreas amostrais variáveis e encontraram resultados distintos para o número de espécies:

- No município Tijucas do Sul - Paraná, foram identificadas 89 espécies (LIEBSCH & ACRA, 2004).
- Em Bom Jardim da Serra – Santa Catarina, foram observadas 55 espécies em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana (FERREIRA et al., 2016).
- Em Nova Prata – Rio Grande do Sul, foram identificadas até 106 espécies em diferentes grupos florísticos de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Montana (CALLEGARO et al., 2015).
- Em Urupema – Santa Catarina foram identificadas 42 espécies em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista (MARTINS et al., 2012).
- No inventário Florístico de Santa Catarina foram registradas 925 espécies de espermatófitas em 155 pontos amostrais de Floresta Ombrófila Mista (GASPER et al., 2013).

- Em São Francisco de Paula – Rio Grande de Sul, foram observadas 42 espécies em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista (BAMBOLIM e WOJCIECHOWSKI, 2017).

Considerando esses elevados números de espécies, fica evidente a diversidade existente nesse tipo de floresta. Consequentemente, existe uma ampla faixa de possíveis utilizações para as espécies florestais localizadas nessas regiões. Algumas das espécies presentes na Floresta Ombrófila Mista e que produzem madeira já apresentaram potencial comprovado na indústria de papel e celulose (*Myrsine coriacea* (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult), para a produção de carvão (*Matayba elaeagnoides* Radlk.), como biomassa para energia (*Lithraea brasiliensis* Marchand), utilização para lenha (*Piptocarpha angustifolia* Dusén ex Malme), na indústria moveleira (*Zanthoxylum rhoifolium* Lam.), para a construção civil (*Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez), entre outras utilizações (AGUIAR et al., 2012; SOCHER, RODERJAN e GALVÃO, 2008; TONINI, FINGER e SCHNEIDER, 2003).

Contudo, é importante destacar que a utilização da madeira dos indivíduos deve ser feita de maneira adequada e legal, uma vez que a legislação para a utilização de indivíduos nativos no Brasil é restrita. Outro fator que deve ser considerado é que a Floresta Ombrófila Mista abriga espécies nativas que são ameaçadas de extinção, entre elas: Pinheiro – brasileiro (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze), Canela sassafrás (*Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer), Canjerana (*Cabralea canjerana* (Vell.) Mart), Canela preta (*Ocotea catharinensis* Mez) e Imbuia (*Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso) (MMA, 2014).

1.2 TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA

Para a caracterização da madeira, são conhecidos alguns métodos distintos. Parte deles, utiliza técnicas destrutivas, ou seja, durante as análises, as amostras são perdidas/danificadas, enquanto em outros casos, são utilizados métodos não destrutivos, ou seja, a análise é realizada de forma que a mesma permaneça intacta. Além disso, Candian e Sales (2009) destacam a importância da utilização de técnicas não destrutivas principalmente por analisar o próprio elemento, sem que haja necessidade da extração de corpos-de-prova.

A utilização de análises não destrutivas é interessante, principalmente quando a amostra já está em uso e não pode ser perdida ou danificada. As principais técnicas não destrutivas pesquisadas para caracterizar a madeira nos últimos anos são baseadas na radiação eletromagnética, espectroscopia, ultrassom, resistência elétrica, termografia, entre outras (NIEMZ e MANNES, 2012).

Dentre esses métodos, destacam-se principalmente as análises no infravermelho, colorimetria e espectroscopia no visível. Essas análises possuem algumas características comuns, como por exemplo, a possibilidade de avaliar uma peça sem extrair corpos de prova e a rapidez, principalmente, se comparados aos métodos convencionais de análise (COSTA et al., 2011).

Além disso, são observadas características únicas nessas análises. A seguir, são destacadas algumas dessas especificidades.

1.2.1 Colorimetria e Espectroscopia no visível

A cor é a característica da madeira perceptível à visão humana, contudo, é um parâmetro de difícil determinação pela alta subjetividade. Assim, foram desenvolvidos métodos que buscam a determinação matemática da cor. Inicialmente, a determinação era realizada pelo método comparativo de Munsell. Atualmente, o método quantitativo (também denominado como colorimetria) é o mais utilizado devido à sua alta precisão (BONFATTI JÚNIOR & LENGOWSKI, 2018)

A caracterização colorimétrica corresponde à caracterização da cor da amostra de madeira no espectro do visível. Para minimizar ao máximo as interferências na determinação da cor da madeira, indica-se para a leitura correta e precisa a utilização do sistema de leitura CIE $L^*a^*b^*$, que é obtida por meio de colorímetros ou espectrofotômetros (MORI et al., 2004).

Utilizando a colorimetria, com o sistema CIELAB, pode-se determinar com precisão a localização exata da cor da espécie dentro do espectro total da cor, obtendo-se os valores de L^* = luminosidade, a^* = coordenadas do verde-vermelho e b^* = coordenada do eixo azul-amarelo. Para facilitar a aplicação da colorimetria para as madeiras, Camargos e Gonzalez (2001) utilizaram as informações obtidas para as variáveis cromáticas (L^* , a^* , b^* , C^* e h) de 350 espécies e publicaram uma tabela com 25 grupos de cores que representam a maior parte das madeiras brasileiras. A Tabela 1. 1, é uma adaptação da tabela publicada por Camargos e Gonzalez (2001).

TABELA 1. 1 - GRUPOS DE CORES OBTIDOS POR CAMARGOS E GONÇALEZ (2001) UTILIZANDO AS VARIÁVEIS CROMÁTICAS L, A*, B*, C* E H.

COR	INTERVALOS DAS VARIÁVEIS CROMÁTICAS				
	L^*	a^*	b^*	C^*	h
Marrom-escuro	38-51	06-11	10-16	12-19	50-61
Amarelo-claro	65-76	07-11	26-37	28-38	71-77
Oliva	40-55	05-10	12-22	13-24	60-71
Cinza-rosado	61-76	04-08	13-20	14-21	67-76
Oliva-amarelado	51-69	06-09	20-27	21-28	69-76
Rosa-acinzentado	55-71	07-11	14-22	16-25	59-68

FONTE: Adaptação de Camargos e Gonzalez (2001).

Além disso, também pode ser obtido o espectro de reflectância, onde são observados diferentes valores para cada comprimento de onda, permitindo avaliar qual foi o comportamento da amostra durante a análise.

Pesquisas já comprovaram o potencial de utilização da técnica para o controle do estado de conservação da madeira (SOTO-MARTINS, 2014), para avaliar a influência do aquecimento natural e artificial na mudança de cor de diferentes materiais à base de madeira (KRŽIŠNIK et al., 2018), relação dos parâmetros colorimétricos com a densidade de alburno (NISHINO et al., 2000) e com o teor de extrativos e fenol (MOYA et al., 2012).

Além disso, essa técnica é muito promissora para fazer a diferenciação de espécies e para determinar as características específicas da amostra, principalmente, quando são utilizadas informações como o valor agregado da peça de madeira. Nestes casos, a cor da madeira é um dos aspectos macroscópicos mais importantes. Por meio desta característica pode-se definir a utilidade e aceitação do produto final (MORI et al., 2005).

Deve-se salientar que muitas das pesquisas realizadas com a colorimetria utilizam espécies ou gêneros que não são nativos no Brasil. Para espécies do gênero *Eucalyptus* já foram realizados diversos trabalhos. Entre essas pesquisas:

- Nisgoski et al. (2017) utilizaram a espectroscopia no visível para discriminar espécies de Eucalipto com amostras sólidas.
- Martins et al. (2015) utilizaram a colorimetria como ferramenta de agrupamento de clones de eucalipto.
- Garcia et al. (2014) inferiram a relação entre a colorimetria e a densidade das madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia*.
- Zanuncio, Farias e Silveira (2014), analisaram a termorreificação e a colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis*.
- Cademartori et al. (2013) consideraram a variação dos parâmetros colorimétricos na modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis*.
- Vanclay, Henson e Palmer (2008) estudaram as variações de cores em madeiras serradas de *Eucalyptus dunnii*.
- Mori et al. (2005) realizaram a caracterização colorimétrica de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp.
- Mori et al. (2004) avaliaram a influência das características tecnológicas na cor da madeira de Eucaliptos.

Deve-se ressaltar ainda, que há também trabalhos publicados que utilizaram a flora nativa do Brasil.

Para a Floresta Amazônica:

- Sousa et al. (2019) avaliaram a possibilidade da utilização da colorimetria da madeira de espécies arbóreas da Amazônia como subsídio para uma classificação mais eficiente.
- Ribeiro et al. (2018) realizaram a caracterização colorimétrica de espécies comerciais da Amazônia brasileira.
- Barros et al. (2014) caracterizaram a colorimetria das madeiras de três espécies da Amazônia.

- Autran e Gonzalez (2006) realizaram a caracterização colorimétrica das madeiras de muirapiranga (*Brosimum rubescens*) e de seringueira (*Hevea brasiliensis*) visando a utilização em interiores.
- Pastore, Santos e Rubim (2004) fizeram um estudo espectrocolorimétrico sobre o efeito da radiação em quatro espécies de madeiras Amazônicas.

Para as espécies nativas do Sul do Brasil, Silva et al. (2015) descreveram a colorimetria da madeira de oito espécies nativas do estado do Rio Grande do Sul.

É importante que novas pesquisas sejam realizadas considerando outras espécies nativas em outras tipologias florestais, principalmente porque já foram constatadas diferenças nos parâmetros colorimétricos de espécies que coexistem no mesmo local (NISHINO et al., 1998; MEINTS et al., 2017), diferenças colorimétricas da mesma variedade crescendo em locais distintos (CSORDÓS, NÉMETH e BAK, 2014) e até mesmo variando em indivíduos da mesma espécie (SILVA et al., 2017).

Deve-se salientar ainda, que a cor da madeira pode apresentar variações dentro do mesmo indivíduo. Essa variação pode ocorrer principalmente em função da textura da amostra (BUHELDT & WAGENFÜHR, 2012) e variação radial devido à presença de lenho juvenil e adulto (DELUCIS et al., 2014). Além disso, essa variação também pode ocorrer devido ao plano anatômico de corte em que a análise é feita (ATAYDE, GONÇALEZ e CAMARGOS, 2011).

Assim, para que essa identificação seja feita corretamente, é necessário que seja feito um banco de dados robusto que seja capaz de diferenciar as espécies corretamente.

1.2.2 Espectroscopia no infravermelho próximo

A caracterização feita utilizando o infravermelho é resultante da resposta química das amostras e pode ser subdividida em diferentes números de onda: espectroscopia no infravermelho distante (200 a 10 cm^{-1}), infravermelho médio (4000 a 200 cm^{-1}) e infravermelho próximo (12800 a 4000 cm^{-1}). Cada região pode fornecer diferentes informações sobre as amostras (SKOOG, HOLLER e CROUCH, 2017).

Inicialmente, a espectroscopia no infravermelho próximo era utilizada na indústria de fármacos, alimentos, polímeros, petroquímica e produtos agrícolas (TSUCHIKAWA e KOBORI, 2015). Na literatura há diversos estudos utilizando a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para a madeira e também para outras

áreas como por exemplo para a área dos solos (SILVA et al., 2020) e no setor alimentício (ONÓRIO e SEIXAS, 2010). O uso da técnica na tecnologia da madeira foi iniciado no setor de celulose e papel e expandiu posteriormente para outros setores.

Considerando a necessidade de compreender melhor a utilização da técnica NIR para a ciência e tecnologia da madeira, diversos trabalhos foram publicados. Dentre eles destacam-se as revisões de literatura publicadas por Hein, Pakkanen e Santos (2017) sobre os desafios de utilizar o NIR para a qualidade da madeira, Pasquini (2018) realizou uma revisão madura sobre a técnica NIR com novas perspectivas, Tsuchikawa & Kobori (2015) realizaram uma revisão detalhada relacionando a técnica NIR e a ciência e tecnologia da madeira e Schwanninger et al. (2011) publicaram uma revisão das atribuições de bandas em espectros de infravermelho próximo para os componentes de madeira.

Sobre o mesmo tema, sobressaem as seguintes pesquisas:

- diferenciar processos de carbonização (NISGOSKI et al., 2020);
- determinar a influência da toposequência na espectroscopia da casca e da madeira de barbatimão (NISGOSKI et al., 2018);
- a utilização do NIR para diferenciar a madeira e casca de indivíduos que se desenvolveram com níveis de adubação distintos (NISGOSKI et al., 2016a);
- diferenciar origens geográficas da madeira (SANDAK, SANDAK e NEGRI, 2011; BERGO et al., 2016);
- discriminar variedades de *Cryptomeria* plantadas no sul do Brasil (NISGOSKI et al., 2016b);
- identificar espécies de madeira e carvão (MONTEIRO et al., 2010; DAVRIEUX et al., 2010; HWANG et al., 2016);
- discriminar materiais com base em madeira (TSUCHIKAWA, YAMATO, INOUE, 2003).

Para as características da madeira, pode-se ainda, em associação com outras análises, fazer a diferenciação de espécies com características anatômicas similares (HORIKAWA, TAZURU e SUGIYAMA, 2015), identificar espécies (LAZARESCU et al., 2017), prever resultados de densidade (STIRLING et al., 2007), composição

química, predição de caracteres anatômicos (VIANA et al., 2009), comprimento de fibra, espessura da parede celular, resistência mecânica, entre outras informações.

Esses resultados podem ser utilizados e aplicados em diferentes setores. Toscano et al. (2017) utilizaram a técnica para diferenciar casca e madeira das espécies do setor de pellets e Acquah et al. (2015) avaliaram o potencial de predição das propriedades da biomassa com a técnica NIR.

Cabe salientar que a identificação não é feita somente com a leitura da amostra, também é necessário que a comparação seja feita com um banco de dados robustos, onde sejam determinados por comparação qual é realmente a espécie.

A utilização da técnica NIR no Brasil vem crescendo e está sendo direcionada para aplicações práticas em órgãos de fiscalização. Para a região Norte, Soares et al. (2017) utilizaram o NIR portátil para diferenciar as madeiras de seis espécies da Amazônia. Ainda considerando as florestas tropicais, Pastore et al. (2011) identificaram as madeiras de quatro diferentes espécies e Muñiz et al. (2016) utilizaram a técnica NIR para diferenciar madeiras de “angelim”.

Na região Sudeste do Brasil, Ramalho, Andrade e Hein (2018) utilizaram a técnica NIR para diferenciar espécies plantadas de espécies nativas. Para a Região Sul do Brasil, Pace et al. (2019) realizaram a identificação da madeira de espécies nativas da mata Atlântica.

Para diferenciação de espécies, a Espectroscopia no infravermelho próximo é uma técnica em ascensão, que permite a identificação não só da madeira, mas também no carvão utilizando as características químicas das amostras. Deve-se ressaltar que a identificação do carvão é dificultada durante o processo de fiscalização, principalmente pela ausência dos contrastes de cor entre os elementos anatômicos.

Reis et al. (2019), estudaram as características da madeira e do carvão de árvores nativas e plantadas de *Prosopis alba*. Davrieux et al. (2010) e Muñiz et al. (2013) realizaram a discriminação de espécies de carvão utilizando diferentes técnicas, inclusive, a espectroscopia no infravermelho próximo. Vieira et al. (2019) utilizaram a técnica NIR para diferenciar a madeira e o carvão de espécies de Myrtaceae nativas da Floresta Ombrófila Mista.

Contudo, ainda há necessidade de estudar o comportamento de outras espécies originárias das diferentes regiões, considerando principalmente a infinidade

dos métodos de análises estatísticas que podem ser aplicados aos dados para obter os melhores resultados possíveis.

REFERÊNCIAS

ACQUAH, G. E.; VIA, B. K.; FASINA, O. O.; ECKHARDT, L. G. Non-destructive prediction of the properties of forest biomass for chemical and bioenergy applications using near infrared spectroscopy. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 23, n. 2, p. 93-102, 2015.

AGUIAR, M. D.; DA SILVA, A. C.; HIGUCHI, P.; NEGRINI, M.; NETO, J. F. Potencial de uso de espécies arbóreas de uma floresta secundária em Lages, Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 11, n. 3, p. 238-247, 2012.

ALMEIDA, D. S. de. **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**. Editus, 2016. 185 p.

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

ATLÂNTICA, SOS Mata. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: Período 2017-2018**. Fundação SOS Mata Atlântica & Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo. 2019. 66 p.

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, p. 445-451, 2006.

BAMBOLIM, A.; WOJCIECHOWSKI, J. C. Composição florística e fitossociológica de um remanescente de floresta ombrófila mista. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 28-35, 2017.

BARROS, S. V. D. S.; MUNIZ, G. I. B. D.; MATOS, J. L. M. D. 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.

BONFATTI JÚNIOR, E. A; LENGOWSKI, E. C. Colorimetria aplicada à ciência e tecnologia da madeira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, p. 10-13 - e201601394, 2018.

BUCHELT, B.; WAGENFÜHR, A. Evaluation of colour differences on wood surfaces. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, n. 1-3, p. 389-391, 2012.

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.

CALLEGARO, R. M.; LONGHI, S. J.; ANDRZEJEWSKI, C. Variações estruturais entre grupos florísticos de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Montana em Nova Prata - RS. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 337-349, 2015.

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.

CANDIAN, M.; SALES, A. Aplicação das técnicas não-destrutivas de ultra-som, vibração transversal e ondas de tensão para avaliação de madeira. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 4, p. 83-97, 2009.

COSTA, M. A.; DA COSTA, A. F.; PASTORE, T. C. M.; BRAGA, J. W. B.; GONÇALEZ, J. C. Caracterização do ataque de fungos apodrecedores de madeiras através da colorimetria e da espectroscopia de infravermelho. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 3, p. 567-577, 2011.

CSORDÓS, D.; NÉMETH R.; BAK, M. Variation of colour properties between and within new *Robinia* varieties with enhanced growing rates from different sites. **BioResources**, v. 9, n. 4, p. 7099-7108, 2014.

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.

DELUCIS, R. D. A.; TABORDA, V. C.; CORREA, L. W.; VEJA, R. D. A.; GATTO, D. A. Avaliação da cor dos lenhos juvenil e adulto de cedro por meio do método CIE L* a* b*. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 11, n. 3, p. 251-259, 2014.

FERREIRA, T. S.; MARCON, A. K.; SALAMI, B.; RECH, C. C. C.; MENDES, A. R.; CARVALHO, A. F.; MISSIO, F. F.; PSCHIEDT, F.; GUIDINI, A. L.; DORNELLES, R. S.; SILVA, A. C.; HIGUCHI, P. Composição florístico-estrutural ao longo de um gradiente de borda em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana em Santa Catarina. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 123-134, 2016.

FOCKINK, G. D.; ZANGALLI, C.; DE OLIVEIRA, E.; KANIESKI, M. R. Espécies prioritárias para restauração da Floresta Ombrófila Mista Montana e Altomontana na Bacia Hidrográfica do rio Canoas. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 1, p. 911-923, 2020.

GARCIA, R. A.; OLIVEIRA, N. S.; NASCIMENTO, A. M.; SOUZA, N. D. Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 509 - 517, 2014.

GASPER, A. L.; SEVEGNANI, L.; VIBRANS, A. C.; MARCOS SOBRAL, M.; UHLMANN, A.; LINGNER, D. V.; RIGON JÚNIOR, M. J.; VERDI, M.; SANTOS, A. S.; DREVECK S.; KORTE, A. Inventário florístico florestal de Santa Catarina: espécies da Floresta Ombrófila Mista. **Rodriguésia**, v. 64, n. 2, p. 201 - 210, 2013.

GUIMARÃES, A. L. O desafio de Conservar e Recuperar a Mata Atlântica: Construindo Corredores de Biodiversidade. **Caminhos da Sustentabilidade no Brasil**. São Paulo: Terra das Artes Editions, 2005. 247 p.

HEIN, P. R.G.; PAKKANEN, H.; SANTOS, A. A. Dos. Challenges in the use of Near Infrared Spectroscopy for improving wood quality: A review. **Forest Systems**, v. 26, n. 3, eR03, 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, 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, p. 156–167, 2016.

IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. **Rio de Janeiro**, n. 1, 2^oed, 2012. 271 p.

KLEIN, R. M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**, v. 12, n. 12, p. 17-44, 1960.

KRŽIŠNIK, D.; LESAR, B.; THALER, N.; HUMAR, M. Influence of natural and artificial weathering on the colour change of different wood and wood-based materials. **Forests**, v. 9, n. 8, p. 488, 2018.

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.

LIEBSCH, D.; ACRA, L. A. Riqueza de espécies de sub-bosque de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Tijucas do Sul, PR. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 1, p. 67-76, 2004.

MARTINS, D.; RODRIGUES, A. L.; CHAVES, C. L.; MANTOVANI, A.; BORTOLUZZI, R. L. C. Estrutura de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista em Urupema, Santa Catarina, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 11, n. 2, p. 126-137, 2012.

MARTINS, M. F.; BELTRAME, R.; DELUCIS, R. A.; GATTO, D. A.; DE CADEMARTORI, P. H. G.; DOS SANTOS, G. A. Colorimetria como ferramenta de agrupamento de madeira de clones de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 443-449, 2015.

MEINTS, T.; TEISCHINGER, A.; STINGL, R.; HANSMANN, C. Wood colour of central European wood species: CIELAB characterisation and colour intensification. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 75, n. 4, p. 499-509, 2017.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção**. Ministério do Meio Ambiente. Portaria MMA nº 443, 2014.

MONTEIRO, T. C., SILVA, R. V. D., LIMA, J. T., HEIN, P. R. G., NAPOLI, A. Use of near infrared spectroscopy to distinguish carbonization processes and charcoal sources. **Cerne**, v. 16, n. 3, p. 381-390, 2010.

MORI, C. L. S. O.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; TRUGILHO, P. F.; GONCALEZ, J. C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 137-146, 2005.

MORI, C. L. S. 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.

MUÑIZ, G. I. B.; CARNEIRO, M. E.; NISGOSKI, S.; RAMIREZ, M. G. L.; MAGALHÃES, W. L. E. SEM and NIR characterization of four forest species charcoal. **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.

NIEMZ, P.; MANNES, D. Non-destructive testing of wood and wood-based materials. **Journal of Cultural Heritage**, v. 13, n. 3, p. S26-S34, 2012.

NISGOSKI, S.; GONÇALVES, T. A. P.; DE OLIVEIRA, N. M.; BITTENCOURT, S. C.; LIMA, G. S.; DE MUÑIZ, G. I. B. Influence of toposequence position of *Stryphnodendron adstringens* trees on discrimination of samples based on spectroscopy. **Revista Ciência da Madeira**, v. 9, n. 2, p. 112-122, 2018.

- NISGOSKI, S.; VIEIRA, H. C.; GONÇALVES, T. A. P.; AFONSO, C. M.; DE MUÑIZ, G. I. B. Charcoal anatomy and NIR spectra of *Spirostachys africana*, *Terminalia* sp. and *Colophospermum mopane* in different carbonization process. **SN Applied Sciences**, v. 2, p. 1-15, 2020.
- NISGOSKI, S.; KLOCK, U.; BATISTA, F. R. R.; SCHARDOSIN, F. Z., CONSALTER, R.; MOTTA, A. C. V. Use of NIR for trees discrimination in different fertilizations based on wood and bark spectra. **Ciência da Madeira**, v. 7, n. 2, p. 100-110, 2016a.
- NISGOSKI, S.; MUNIZ, 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.; SCHARDOSIN, F. Z.; BATISTA, F. R. R.; DE 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, 2016b.
- 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.
- ONÓRIO, D. F.; SEIXAS, F. A. V. Uso de FT-NIR para a identificação e quantificação de microrganismos em alimentos. **Revista Uningá Review**, v. 3, n. 1, p. 62-70, 2010.
- PACE, J. H. C.; DE FIGUEIREDO LATORRACA, J. V.; HEIN, P. R. G.; DE CARVALHO, A. M.; CASTRO, J. P.; DA SILVA, C. E. S. Wood species identification from Atlantic Forest by near infrared spectroscopy. **Forest systems**, v. 28, n. 3, e015, p. 8-36, 2019.
- PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives - A review. **Analytica Chimica Acta**, v. 1026, p. 8, 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.; DE 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, p. 73-80, 2011.

PASTORE, T. C.; SANTOS, K. O.; RUBIM, J. C. A spectrophotometric study on the effect of ultraviolet irradiation of four tropical hardwoods. **Bioresource technology**, v. 93, n. 1, p. 37-42, 2004.

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, e008, 2018.

REIS, C. A.; CISNEROS, A. B.; SILVA, E. L.; DE 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.

RIBEIRO, E. S.; GONÇALEZ, J. C.; LIMA, C. M.; RODRIGUES, E. C. C.; PAULA, M. H.; MESQUITA, R. R. S.; QUEIROZ, F. L. C.; LESSES, O. M. G. Colorimetry and anatomical characterization of commercial wood species from the Brazilian Amazon. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 12, n. 2, 15-23, 2018.

ROSARIO, F. R.; GROBE, L. S.; RODRIGUES, J. A.; DAL RI, I. M. Mata-Atlântica: economia, igualdade, ideias e preservação. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 755-775, 2020.

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

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.

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. **Revista Ciência da Madeira**, v. 6, n. 1, p. 31-37, 2015.

SILVA, J. C. A.; SIGNOR, D.; BRITO, A. M. S. S.; CERRI, C. E. P.; CAMARGO, P. B.; PEREIRA, C. F. Espectroscopia no infravermelho próximo e análise de componentes principais para investigação de solos submetidos a diferentes usos da terra na Amazônia Oriental brasileira. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 1, p. 51-62, 2020.

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

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Principles of instrumental analysis**. Cengage learning, 2017. 961 p.

SOARES, L. F.; DA 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.

SOCHER, L. G.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F. Biomassa aérea de uma Floresta Ombrófila Mista aluvial no município de Araucária (PR). **Floresta**, v. 38, n. 2, p. 245-252, 2008.

SOTO-MARTÍN, O. Colorimetric measurements as control elements in wood conservation status. **Conservar Patrimônio**, n. 20, p. 75-79, 2014.

SOUSA, W. C. S.; BARBOSA, L. J.; SOARES, A. A. V.; GOULART, S. L.; PROTÁSIO, T. P. Wood colorimetry for the characterization of Amazonian tree species: a subsidy for a more efficient classification. **Cerne**, v. 25, n. 4, p. 451-462, 2019.

STIRLING, R.; TRUNG, T.; BREUIL, C.; BICHO, P. Predicting wood decay and density using NIR spectroscopy. **Wood and Fiber Science**, v. 39, n. 3, p. 414-423, 2007.

TONINI, H.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. O crescimento da *Nectandra megapotamica* Mez., em floresta nativa na depressão central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, p. 85-90, 2003.

TOSCANO, G.; RINNAN, Å.; PIZZI, A.; MANCINI, M. The use of near-infrared (NIR) spectroscopy and principal component analysis (PCA) to discriminate bark and wood of the most common species of the pellet sector. **Energy & Fuels**, v. 31, n. 3, p. 2814-2821, 2017.

TRENTIN, B. E.; ESTEVAN, D. A.; ROSSETTO, E. F. S.; GORENSTEIN, M. R.; BRIZOLA, G. P.; BECHARA, F. C. Restauração florestal na Mata Atlântica: passiva, nucleação e plantio de alta diversidade. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 160-174, 2018.

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.

TSUCHIKAWA, S.; YAMATO, K.; INOUE, K. Discriminant analysis of wood-based materials using near-infrared spectroscopy. **Journal of Wood Science**, v. 49, n. 3, p. 275-280, 2003.

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.

VIANA, L. C.; TRUGILHO, P. F.; HEIN, P. R. G.; LIMA, J. T.; DA SILVA, J. R. M. Predicting the morphological characteristics and basic density of *Eucalyptus* wood using the NIRS technique. **Cerne**, v. 15, n. 4, p. 421-429, 2009.

VIEIRA, H. C.; SANTOS, J. X. D.; LOPES DA SILVA, E.; D'ANGELO RIOS, P.; DE MUÑIZ; G. I. B., RIBEIRO MORRONE, S.; 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**, v. 16, n. 3, p. 188-195, 2021.

ZANUNCIO, A. J. V.; FARIAS, E. D. S.; SILVEIRA, T. A. D. Termorretificação e colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 1, p. 85-90, 2014.

CAPÍTULO 2
ESPECTROSCOPIA E COLORIMETRIA DA MADEIRA DE ESPÉCIES DA
FAMÍLIA MYRTACEAE

Artigos publicados utilizando os resultados do Capítulo 2:

1. VIEIRA, H. C.; SILVA, E. L.; SANTOS, J. X.; MUÑIZ, G. I. B.; MORRONE, S. M.; NISGOSKI, S. Wood colorimetry of native species of Myrtaceae from an Araucaria Forest. **Floresta**, v. 49, n. 2, p. 353-362, 2019.
2. VIEIRA, H. C.; SANTOS, J. X. D.; SILVA, E. L.; RIOS, P. D.; DE 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**, v. 16, n. 3, p. 188-195, 2021.

RESUMO

Considerando a similaridade das espécies e a necessidade da diferenciação dos indivíduos da família Myrtaceae, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de utilização da colorimetria e da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para a distinção de espécies de Myrtaceae nativas da Floresta Ombrófila Mista. Para tal, foram coletados 3 indivíduos das espécies *Campomanesia xanthocarpa* Berg, *Eugenia pyriformis* Cambess., *Myrcia retorta* Cambess. e *Plinia peruviana* (Poir.) Govaerts. Para as análises, de cada indivíduo, retirou-se um disco no diâmetro à altura do peito (DAP), posteriormente foram amostrados corpos de prova nas regiões: próxima à casca, intermediária e próxima à medula. Na obtenção dos espectros e dos parâmetros colorimétricos foram realizadas duas leituras em cada plano anatômico (transversal, radial e tangencial). Como resultados, as espécies apresentam valores distintos para os parâmetros colorimétricos. Além disso, a análise de componentes principais (PCA) resultante da utilização dos espectros originais da região do visível e dos valores obtidos para L^* , a^* e b^* , somente a *Eugenia pyriformis* diferencia-se das demais. Nos resultados obtidos para o NIR, pode-se observar que os espectros da madeira e do carvão foram semelhantes para todas as espécies. Além disso, para o NIR, as análises de componentes principais realizadas com todos os dados originais mostraram baixa distinção das espécies, contudo, foram obtidos bons resultados para a análise com os dados em segunda derivada. Sendo assim, pode-se concluir que principalmente a técnica NIR apresentou bons resultados e potencial para auxiliar a fiscalização na discriminação da madeira e do carvão das espécies de Myrtaceae.

Palavras-chave: Discriminação de espécies. Espectroscopia VIS/NIR. Madeira. Carvão.

ABSTRACT

Considering the species similarity and the need to differentiate wood of the Myrtaceae family, this study aimed to evaluate the potential use of colorimetry and near-infrared spectroscopy (NIR) to discriminate native species of Araucaria Forest: *Campomanesia xanthocarpa* Berg, *Eugenia pyriformis* Cambess., *Myrcia retorta* Cambess. And *Plinia peruviana* (Poir.) Govaerts. For each evaluated species, three trees were collected and a disk at breast height (DBH) was cut and divided into samples obtained in the region near the pith, intermediate and near the bark. For each sample, two spectra were obtained in each anatomical section (transversal, radial and tangential). The analysis determined that the species present different values for the colorimetric parameters. Furthermore, the principal component analysis (PCA) resulting from the use of the original visible spectra and the values obtained for L^* , a^* and b^* , indicated that only *Eugenia pyriformis* differs from the others. The results obtained for the NIR, indicated the similarity of wood and charcoal spectra of all species. In addition, principal component analysis (PCA) for the NIR of raw data on samples showed little distinction of species, but second derivative pretreatment provided adequate discrimination. Finally, it is possible to conclude that mainly the NIR technique showed good results and potential to help the inspection in the discrimination of wood and charcoal from Myrtaceae species.

Keywords: Wood identification. VIS/NIR spectroscopy. Wood. Charcoal.

2.1 INTRODUÇÃO

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) é conhecida por sua grande variabilidade e seus aspectos únicos. Nesta floresta, em Santa Catarina, podem ser observadas 925 espécies de 439 gêneros e 116 famílias. Dentre estas, pode-se destacar a Família Myrtaceae como segunda maior em número de representantes com aproximadamente 88 espécies (GASPER et al., 2013).

Souza e Lorenzi (2008) afirmam que esta família possui grande dificuldade na diferenciação de espécies, uma vez que a estrutura taxonômica é muito homogênea em toda a família. Contudo, a correta identificação é imprescindível, uma vez que, diferentes espécies encontram-se em estados de conservação distintos de acordo com a “Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção” (MMA, 2014).

Sabe-se ainda que a utilização da madeira ocupa um lugar de destaque devido à sua grande variabilidade e diversidade de aplicações. A Família Myrtaceae possui representantes importantes para a utilização no setor madeireiro, dentre eles, destaca-se o gênero exótico *Eucalyptus* que é o mais plantado no Brasil, sendo seu corte e comercialização permitidos no país (ABRAF, 2013).

Porém, para as espécies nativas, o corte é proibido, portanto são necessárias medidas para impedir o comércio ilegal de madeira. Nesse sentido, deve-se utilizar métodos que sejam capazes de identificar corretamente as espécies, já que muitas vezes ocorre mistura de espécies nativas, durante a comercialização da madeira e do carvão.

Atualmente, utiliza-se a anatomia da madeira como ferramenta principal para a identificação durante o transporte, entretanto essa técnica é complexa e precisa de alto nível de treinamento para que o procedimento seja feito corretamente. Em outros casos ainda, como por exemplo na comercialização do carvão, os caracteres anatômicos podem ter as suas dimensões afetadas, de acordo com a forma e temperatura em que a carbonização foi realizada.

Já foram realizados trabalhos que buscam diferenciar espécies nativas de Myrtaceae pelos caracteres anatômicos (STANGE et al., 2018). Contudo ainda são necessários outros trabalhos que diferenciem espécies de Myrtaceae nativas no Brasil utilizando técnicas alternativas. Desta maneira, buscam-se técnicas que possam identificar a madeira e o carvão de forma rápida e precisa.

Sendo assim, o objetivo deste capítulo foi avaliar o potencial de utilização da colorimetria para a discriminação da madeira e da espectroscopia no Infravermelho Próximo para a distinção da madeira e do carvão de espécies da família Myrtaceae nativas da Floresta Ombrófila Mista.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas árvores de quatro espécies de Myrtaceae, nativas da Floresta Ombrófila Mista, na área que foi inundada para a implantação da Hidrelétrica de São Roque – Santa Catarina. A região abrange os municípios de São José do Cerrito, Campos Novos, Brunópolis, Curitibanos, Frei Rogério e Vargem. Na Tabela 2. 1, estão apresentados os nomes científicos e populares das espécies, o número do registro no herbário LUSC das amostras, o diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores, as coordenadas geográficas e a altitude do local de coleta.

TABELA 2. 1 - INFORMAÇÕES SOBRE OS NOMES CIENTÍFICOS E POPULARES DAS ESPÉCIES DE MYRTACEAE, O NÚMERO DO REGISTO NO HERBÁRIO LUSC DAS AMOSTRAS, O DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) DAS ÁRVORES, AS COORDENADAS GEOGRÁFICAS E A ALTITUDE DO LOCAL DE COLETA.

Espécie	Nome popular	Número do Registro	DAP (cm)	Coordenada	Altitude (m)
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> Berg	Guabiroba	LUSC 6188	39,5	lat: -27.497031 long: -50.810531 WGS84	680
		LUSC 6189	34	lat: -27.483358 long: -50.80875 WGS84	730
		LUSC 6190	22	lat: -27.483217 long: -50.808783 WGS84	733
<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.	Uvaia	LUSC 6219	18	lat: -27.489200 long: -50.975007 WGS84	*
		LUSC 6220	15	lat: -27.482667 long: -50.811278 WGS84	750,9
		LUSC 6221	15	lat: -27.482761 long: -50.811514 WGS84	752,7
<i>Myrcia retorta</i> Cambess.	Guamirim-ferro	LUSC 6252	27,1	lat: -27.492825 long: -50.812278 WGS84	764,7
		LUSC 6253	17,3	lat: -27.492783 long: -50.812303 WGS84	790,6
		LUSC 6254	10,6	lat: -27.492894 long: -50.812364 WGS84	758,4
<i>Plinia peruviana</i> (Poir.) Govaerts	Jabuticaba	LUSC 6324	25,8	lat: -27.497356 long: -50.810294 WGS84	713,3
		LUSC 6325	26	lat: -27.4937 long: -50.803347 WGS84	622,5
		LUSC 6326	22,7	lat: -27.49375 long: -50.802928 WGS84	708,5

FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: * Sem registro.

No total, foram coletados 12 indivíduos escolhidos aleatoriamente à campo, sendo 3 de cada espécie. Por indivíduo foram coletados material botânico e dois discos de madeira com aproximadamente 5 centímetros de espessura, à 1,30 metros do solo, na altura do diâmetro à altura do peito (DAP). O material botânico e um disco

foram utilizados para identificação, registro e armazenamento no Herbário Lages da Universidade do Estado de Santa Catarina (LUSC).

Os 12 discos remanescentes, um de cada indivíduo foram utilizados para este estudo (FIGURA 2. 1). Para abranger a maior variação das amostras, foi feita a amostragem radial dos corpos de prova, de forma a preservar a orientação dos anéis de crescimento e a correta distribuição dos elementos anatômicos nos planos transversal, tangencial e radial.

FIGURA 2. 1 - SEÇÃO TRANSVERSAL DOS DISCOS DAS ESPÉCIES (A) *Campomanesia xanthocarpa* BERG, (B) *Eugenia pyriformis* CAMBESS., (C) *Myrcia retorta* CAMBESS. E (D) *Plinia peruviana* (POIR.) GOVAERT. BARRAS = 5 CM



FONTE: A autora (2021).

Foram coletados de cada disco ao menos seis corpos de prova (variando de acordo com o tamanho do disco, discos maiores possuem mais corpos de prova retirados da região intermediária), de cunhas opostas, sendo eles: 2 próximos à região da medula, 2 na região intermediária e 2 na região próxima à casca. Os corpos de prova possuíam dimensões finais de aproximadamente 2 x 2 x 2 centímetros, de comprimento, largura e espessura.

Para evitar a influência dos efeitos da oxidação e marcas da serra nas amostras, as superfícies foram previamente polidas manualmente com lixas de granulometria 100. Conforme o recomendado por Lazarescu et al. (2017) para a comparação dos espectros, todas as amostras foram armazenadas em ambiente controlado (Temperatura $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e Umidade $50 \pm 2\%$) para padronizar o teor de umidade.

2.2.1 Colorimetria – espectroscopia no visível

Para a caracterização colorimétrica foi utilizado o sistema CIE $L^*a^*b^*$, por meio do espectrofotômetro Konica Minolta CM-5 e o programa SpectraMagic NX, com

uma lâmpada de xenônio difusa, ângulo de observação de 10 graus e iluminante D65. Em cada corpo de prova foram realizadas duas leituras por plano de corte, obtendo-se os valores de L^* = luminosidade, a^* = coordenadas do verde-vermelho e b^* = coordenada do eixo azul-amarelo. Além disso, foram calculados C^* = saturação e h = ângulo de tinta de acordo com as equações (1) e (2), respectivamente.

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

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

Posteriormente, comparou-se os resultados obtidos para cada espécie utilizando o teste de média de Scott-Knott através da análise fatorial, considerando-se os fatores plano de corte (transversal, tangencial e radial) e a posição no disco (próximo à medula, região intermediária e próximo à casca). A análise fatorial foi feita utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2008).

Para avaliar o comportamento das espécies, dos planos de corte e da posição no tronco, frente às características colorimétricas foi utilizada a Análise de Componentes Principais (PCA) no software Unscrambler X (versão 10.1), com o algoritmo NIPALS.

2.2.2 Espectroscopia no infravermelho próximo

Após a realização das análises na madeira, os corpos de prova foram carbonizados em forno mufla, com temperatura final de 450 °C e taxa de aquecimento de 1,66 °Cmin⁻¹, conforme o recomendado por Muñiz et al. (2012).

Para a obtenção dos espectros NIR da madeira e do carvão, utilizou-se um espectrômetro Tensor 37 (Bruker), adaptado com uma esfera de integração, operando em reflectância difusa (4.000 a 10.000 cm⁻¹) com resolução 4 cm⁻¹ e 64 varreduras. Foram realizadas 2 leituras em cada plano anatômico (transversal, tangencial e radial), totalizando 6 leituras em cada corpo de prova.

Posteriormente, utilizando o software Unscrambler X (versão 10.1), foram realizadas análises de componentes principais (PCA) com os dados originais e em segunda derivada de Savitzky-Golay com 15 de smoothing.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Colorimetria

2.3.1.1 Parâmetros colorimétricos

Inicialmente, realizou-se uma caracterização geral das amostras para identificar o comportamento médio das espécies. Os resultados obtidos para todos os parâmetros colorimétricos das quatro espécies de Myrtaceae estão apresentados na Tabela 2. 2.

TABELA 2. 2 - VALORES MÉDIOS DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS OBTIDOS PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES DE MYRTACEAE.

Parâmetro	Espécies			
	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	<i>Eugenia pyriformis</i>	<i>Myrcia retorta</i>	<i>Plinia peruviana</i>
L*	55,48 B (12,19)	69,75 A (4,44)	50,01 C (13,60)	54,16 B (10,16)
a*	7,17 B (25,74)	3,69 C (28,72)	9,87 A (16,97)	7,23 B (18,49)
b*	15,87 A (14,08)	12,76 D (28,24)	15,16 B (16,91)	14,05 C (11,61)
C*	17,49 A (13,67)	13,30 C (27,74)	18,16 A (14,32)	15,83 B (11,78)
h	65,70 B (7,98)	73,64 A (3,99)	56,69 D (9,33)	62,87 C (5,81)

FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: Para cada parâmetro, médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott – Knott ao nível de 95% de significância. Coeficiente de variação em porcentagem entre parênteses.

Com os resultados da Tabela 2. 2, evidenciaram-se as diferenças entre as espécies. Os valores médios variaram: para L* (luminosidade) entre 69,75 e 50,01, para a* (coordenada cromática verde-vermelho) entre 9,87 – 3,69, para b* (coordenada cromática azul-amarelo) entre 15,87 – 12,76, para C* (saturação da cor) entre 18,16 e 13,30 e para h (ângulo de tinta) entre 73,64 – 56,69.

Quando considerado o parâmetro L*, a *Eugenia pyriformis* destacou-se por apresentar a maior média. Além disso, segundo Camargos e Gonzalez (2001), é a única espécie dentre as caracterizadas que pode ser classificada como de alta luminosidade (L>56). As espécies *Campomanesia xanthocarpa* e *Plinia peruviana* apresentaram valores semelhantes entre si e intermediários em comparação com as demais. Os menores valores foram observados para a *Myrcia retorta*, madeiras com baixos valores de L* tendem a apresentar superfícies mais escurecidas (SILVA et al., 2017).

No parâmetro a* foi observado o comportamento inverso, com os maiores valores para *Myrcia retorta* e os menores para a *Eugenia pyriformis*. Barros, Muñiz e Matos (2014), confirmam que as espécies que apresentam os maiores valores para a* são as com a predominância do pigmento vermelho.

Para o parâmetro b^* , foram observados valores decrescentes na seguinte sequência: *Campomanesia xanthocarpa*, *Myrcia retorta*, *Plinia peruviana* e *Eugenia pyriformis*. Quanto maior o valor de b^* , maior será a quantidade de pigmento amarelo presente na madeira (GONÇALEZ et al., 2001). Assim, pode-se considerar que a madeira de *Eugenia pyriformis* apresenta a menor tendência a ser amarelada.

Utilizando os parâmetros a^* e b^* foram calculados os valores de C^* e h , sendo assim, para madeira, estes são altamente influenciados pelos pigmentos vermelho e amarelo. Porém Silva et al. (2015) destacam a tendência de os resultados de C^* seguirem o comportamento do parâmetro b^* . Deve-se perceber ainda, que a afirmação foi verdadeira para as espécies estudadas, uma vez que nos dois parâmetros, os maiores resultados foram observados para as espécies *Campomanesia xanthocarpa* e *Myrcia retorta* e os menores para a *Eugenia pyriformis*. O h confirma a diferença na tonalidade das espécies, sendo *Eugenia pyriformis* a com os maiores resultados e a *Myrcia retorta* com os menores.

Ainda, considerando os intervalos das variáveis cromáticas, pode-se classificar as madeiras das espécies, de acordo com a tabela de identificação de cor, sugerida por Camargos e Gonzalez (2001), sendo que a *Campomanesia xanthocarpa*, *Eugenia pyriformis*, *Myrcia retorta* e *Plinia peruviana*, são respectivamente: rosa-acinzentada, cinza-rosado, marrom-escura e oliva.

De acordo com Garcia et al. (2014), a classificação das espécies com cores distintas é um fator importante e pode ser um indicativo do potencial de diferenciação das espécies utilizando os parâmetros colorimétricos. Contudo, os autores também destacam que a identificação da cor deve ser feita com parcimônia, uma vez que diversos fatores influenciam na coloração da madeira.

2.3.1.2 Análise estatística Fatorial

Visando compreender o comportamento dos parâmetros colorimétricos das madeiras das espécies de Myrtaceae, foram avaliados os efeitos da posição no tronco (próximo à medula, intermediários e próximo à casca) e dos planos anatômicos (transversal, tangencial e radial). Os resultados obtidos para os parâmetros L^* , a^* e b^* (TABELA 2. 3), C^* e h (TABELA 2. 4), são apresentados a seguir:

TABELA 2. 3 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO L*, a* E b* PARA TODAS AS ESPÉCIES DE MYRTACEAE NAS DIFERENTES POSIÇÕES DO TRONCO (PRÓXIMOS À CASCA, INTERMEDIÁRIO E PRÓXIMO À MEDULA) E NOS DIFERENTES PLANOS DE CORTE (TRANSVERSAL, RADIAL E TANGENCIAL).

Espécie	Posição	L*			a*			b*		
		X	R	T	X	R	T	X	R	T
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	C.	57,39 (8,11) Ab	64,76 (8,73) Aa	60,41 (5,69) Ab	6,52 (20,12) Aa	6,78 (16,23) Aa	6,37 (13,77) Aa	15,96 (18,34) Ab	18,09 (17,49) Aa	15,96 (9,37) Ab
	I.	50,91 (9,01) Bb	55,35 (12,17) Ba	55,16 (9,64) Ba	6,69 (19,06) Ab	7,95 (28,04) Aa	7,46 (23,53) Aa	13,93 (11,30) Bb	16,74 (8,34) Aa	15,86 (7,70) Aa
	M.	49,34 (12,61) Bb	56,49 (11,78) Ba	56,23 (11,73) Ba	6,28 (27,23) Ab	7,95 (32,17) Aa	7,72 (30,42) Aa	13,35 (15,79) Bb	17,86 (6,73) Aa	16,57 (4,22) Aa
<i>Eugenia pyriformis</i>	C.	67,36 (6,00) Ab	70,89 (5,07) Aa	68,13 (8,07) Bb	4,38 (43,63) Aa	4,21 (26,78) Aa	4,82 (37,23) Aa	14,41 (40,12) Aa	16,81 (38,98) Aa	15,95 (33,47) Aa
	I.	68,51 (2,68) Ab	71,43 (2,49) Aa	71,07 (2,57) Aa	3,31 (21,82) Ba	3,54 (16,12) Aa	3,44 (16,98) Ba	10,59 (10,32) Bb	12,65 (9,32) Ba	12,58 (10,71) Ba
	M.	66,94 (3,75) Ab	71,13 (2,57) Aa	70,19 (2,29) Aa	3,41 (18,75) Ba	3,47 (13,67) Aa	3,58 (17,15) Ba	9,96 (21,45) Ba	12,72 (13,19) Ba	11,99 (8,86) Ba
<i>Myrcia retorta</i>	C.	51,42 (6,16) Ac	60,07 (3,84) Aa	56,13 (3,39) Ab	7,6 (15,85) Bb	7,95 (10,69) Cb	9,63 (7,30) Ba	14,76 (15,63) Ab	16,8 (8,22) Aa	16,91 (7,89) Aa
	I.	40,50 (10,50) Bb	52,47 (6,08) Ba	51,13 (6,02) Ba	9,64 (13,17) Ab	10,01 (13,41) Bb	11,1 (8,46) Aa	12,16 (15,32) Bb	16,04 (8,05) Aa	16,35 (10,19) Aa
	M.	40,36 (6,81) Bb	51,04 (6,92) Ba	51,97 (5,78) Ba	9,56 (21,11) Ab	11,67 (11,62) Aa	10,75 (8,27) Aa	11,7 (17,60) Bb	16,62 (12,94) Aa	15,84 (12,96) Aa
<i>Plinia peruviana</i>	C.	53,4 (7,39) Ab	61,65 (7,10) Aa	55,46 (11,09) Ab	6,63 (22,07) Aa	6,72 (23,91) Aa	7,16 (22,38) Aa	13,16 (10,36) Ab	14,97 (11,42) Aa	14,36 (10,80) Aa
	I.	53,33 (6,22) Aa	56,94 (3,67) Ba	54,26 (4,84) Aa	6,56 (17,10) Ab	7,65 (12,65) Aa	7,88 (22,99) Aa	12,8 (5,38) Ab	15,13 (7,22) Aa	14,92 (11,06) Aa
	M.	45,49 (10,64) Bb	54,43 (4,92) Ba	52,5 (6,27) Aa	6,86 (12,91) Aa	7,76 (10,43) Aa	7,83 (9,15) Aa	11,75 (6,67) Bb	14,89 (4,00) Aa	14,49 (6,33) Aa

FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: C = Região próxima à casca, I = Região Intermediária, M= Região próxima à medula, X = Plano transversal, R = Plano radial e T = Plano tangencial. Em cada parâmetro, para cada espécie, médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott – Knott ao nível de 95% de significância. Coeficiente de variação em porcentagem entre parênteses.

Considerando o parâmetro L*, para o fator plano de corte, no geral, os planos radial e tangencial são superiores ao transversal e não apresentam diferença estatística entre si. Entretanto, para as amostras analisadas próximas à região da casca, essa tendência não foi observada, para as espécies *Campomanesia xanthocarpa*, *Eugenia pyriformis* e *Plinia peruviana*, nas quais, os planos transversal e tangencial apresentaram resultados semelhantes. A região próxima à casca, da espécie *Myrcia retorta* apresentou resultados superiores para o plano radial e

inferiores para o transversal. Além disso, a posição intermediária da espécie *Plinia peruviana* foi semelhante nos três planos de corte.

TABELA 2. 4 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO C* E h PARA TODAS AS ESPÉCIES DE MYRTACEAE NAS DIFERENTES POSIÇÕES DO TRONCO (PRÓXIMOS À CASCA, INTERMEDIÁRIO E PRÓXIMO À MEDULA) E NOS DIFERENTES PLANOS DE CORTE (TRANSVERSAL, RADIAL E TANGENCIAL).

Espécie	Posição	C*						h					
		X		R		T		X		R		T	
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	C.	17,30 (16,65)	Ab	19,38 (15,23)	Aa	17,21 (8,06)	Ab	67,49 (6,66)	Aa	69,01 (6,90)	Aa	68,13 (5,09)	Aa
	I.	15,50 (10,56)	Bb	18,61 (10,38)	Aa	17,6 (8,29)	Aa	64,32 (6,83)	Aa	64,89 (8,24)	Aa	64,93 (7,69)	Aa
	M.	14,84 (14,25)	Bb	19,66 (9,09)	Aa	18,38 (7,67)	Aa	64,76 (10,15)	Aa	66,33 (9,52)	Aa	65,39 (9,54)	Aa
<i>Eugenia pyriformis</i>	C.	15,09 (39,96)	Aa	17,34 (38,09)	Aa	16,66 (33,73)	Aa	73,02 (5,15)	Aa	75,29 (3,15)	Aa	73,31 (1,69)	Aa
	I.	11,11 (9,82)	Bb	13,15 (8,85)	Ba	13,06 (10,10)	Ba	72,58 (5,04)	Ab	74,32 (3,41)	Aa	74,63 (3,79)	Aa
	M.	10,53 (20,98)	Ba	13,20 (12,45)	Ba	12,52 (9,03)	Ba	70,90 (2,40)	Ab	74,60 (3,31)	Aa	73,42 (2,94)	Aa
<i>Myrcia retorta</i>	C.	16,63 (14,65)	Ab	18,58 (8,34)	Ba	19,47 (6,87)	Aa	62,69 (5,14)	Ab	64,71 (2,27)	Aa	60,29 (3,50)	Ab
	I.	15,56 (12,52)	Ab	18,94 (7,91)	Ba	19,8 (6,99)	Aa	51,43 (8,42)	Bc	58,10 (5,80)	Ba	55,68 (6,73)	Bb
	M.	15,13 (18,13)	Ab	20,32 (12,17)	Aa	19,16 (10,89)	Aa	50,89 (6,76)	Bb	54,85 (3,08)	Ca	55,67 (4,38)	Ba
<i>Plinia peruviana</i>	C.	14,76 (11,91)	Ab	16,44 (12,83)	Aa	16,09 (11,69)	Aa	63,50 (6,03)	Aa	66,10 (5,55)	Aa	63,74 (6,92)	Aa
	I.	14,41 (7,14)	Ab	16,96 (7,94)	Aa	16,92 (12,48)	Aa	63,00 (5,18)	Aa	63,25 (3,09)	Ba	62,41 (6,84)	Aa
	M.	13,62 (6,91)	Ab	16,8 (3,98)	Aa	16,49 (4,85)	Aa	59,77 (4,92)	Ba	62,51 (4,11)	Ba	61,58 (4,77)	Aa

FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: C = Região próxima à casca, I = Região Intermediária, M= Região próxima à medula, X = Plano transversal, R = Plano radial e T = Plano tangencial. Em cada parâmetro, para cada espécie, médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott – Knott ao nível de 95% de significância. Coeficiente de variação em porcentagem entre parênteses.

Ainda considerando a luminosidade, para o fator posição do tronco, as espécies *Campomanesia xanthocarpa*, *Myrcia retorta* e *Plinia peruviana* apresentaram menores resultados conforme aumenta a proximidade com a medula, destas espécies apenas as mensurações realizadas no plano tangencial da espécie

Plinia peruviana não apresentou esta tendência, uma vez que não foram observadas diferenças estatísticas entre as posições no tronco. A madeira da *Eugenia pyriformis* não sofreu influência da posição do tronco nos planos transversal e radial, no tangencial os resultados foram superiores para as regiões próximas à medula e intermediária.

No parâmetro a^* (coordenada cromática verde-vermelho) as espécies não apresentaram um padrão geral, contudo pode-se observar que cada espécie tem seu próprio padrão. Silva et al. (2015), ao descreverem a colorimetria da madeira de oito espécies nativas do estado do Rio Grande do Sul observaram que as espécies apresentaram padrões de comportamento distintos. Para os planos de corte, a espécie *Eugenia pyriformis* não apresentou diferença entre as amostras, este comportamento também foi observado para as regiões próximas à casca da *Campomanesia xanthocarpa* e casca e medula da *Plinia peruviana*. Nas amostras da *Campomanesia xanthocarpa* para as regiões intermediária e próxima à medula, para a espécie *Myrcia retorta* e na região intermediária da *Plinia peruviana* houve a tendência de o transversal apresentar os menores resultados. Este comportamento também foi observado por Atayde, Gonzalez e Camargos (2011) ao caracterizarem os parâmetros colorimétricos entre as três seções da madeira de muirapiranga. Para as posições do tronco, as espécies *Campomanesia xanthocarpa*, *Plinia peruviana* e plano radial da *Eugenia pyriformis* não apresentaram diferença estatística significativa. Nos planos transversal e tangencial da espécie *Eugenia pyriformis* a casca apresentou os maiores resultados, comportamento inverso ao observado para a espécie *Myrcia retorta*, onde houve a tendência de a região ser a com menores resultados.

Para o b^* , em todas as espécies, houve grande tendência dos valores serem menores para o plano transversal e semelhantes para os planos radial e tangencial. Autran e Gonzalez (2006) também observaram valores semelhantes para estes planos ao avaliarem árvores de seringueira. Somente três amostras não seguiram esta tendência, a medula e a casca da *Eugenia pyriformis*, onde todos os valores são estatisticamente iguais e a posição casca da *Campomanesia xanthocarpa*, em que os menores valores foram dos planos transversal e tangencial. Para as posições do tronco, os planos radial e tangencial não apresentaram diferenças significativas para as espécies *Campomanesia xanthocarpa*, *Myrcia retorta* e *Plinia peruviana*. Para a espécie *Eugenia pyriformis* e para o plano transversal das demais espécies houve a tendência de o maior valor ser observado na posição próxima a casca.

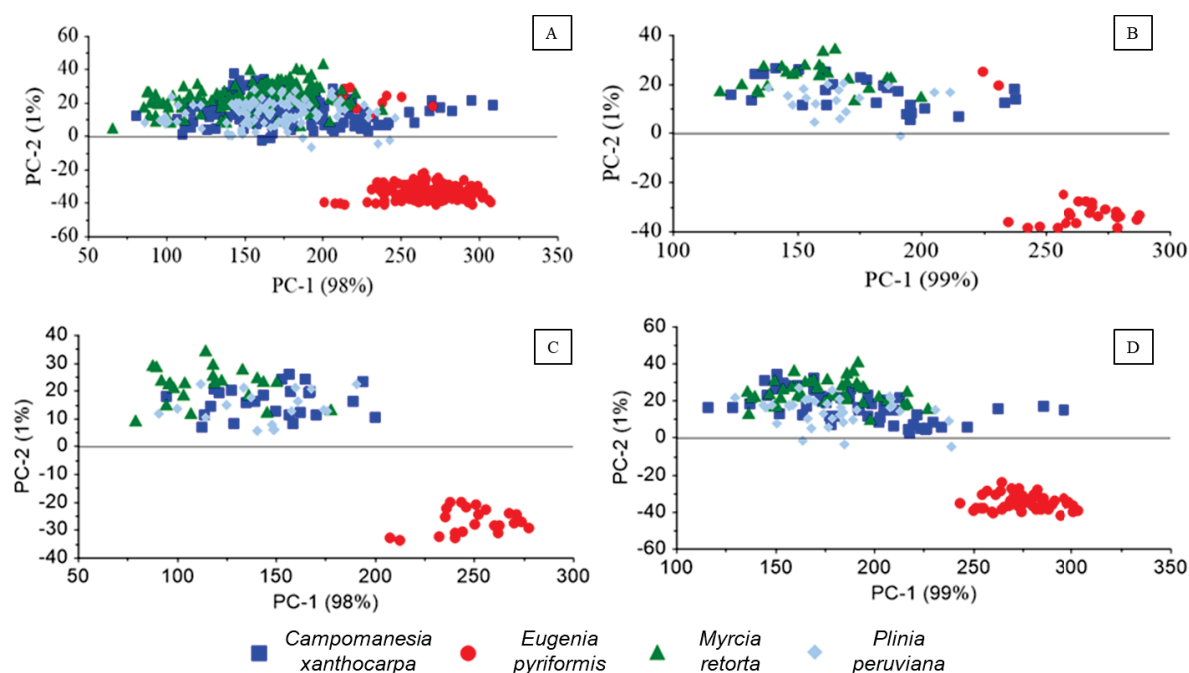
Para o parâmetro C, quando considerados os diferentes planos de corte, para todas as espécies, houve tendência das análises dos planos tangencial e radial apresentarem valores semelhantes, ainda, para a grande maioria das amostras, os menores resultados foram observados para o plano transversal. De acordo com Nishino et al. (1998), esse fenômeno pode ser explicado devido às características anatômicas da madeira, principalmente pela orientação dos raios. Somente duas amostras não seguiram este padrão, sendo elas: a região próxima à casca da espécie *Campomanesia xanthocarpa* sendo semelhante nos planos transversal e tangencial e superiores para o plano radial; além da casca e a medula da *Eugenia pyriformis*, com valores iguais para todos os planos. Quando consideradas as diferentes posições no tronco, os valores obtidos para a espécie *Plinia peruviana* foram iguais, em todos os planos de corte. Para a *Eugenia pyriformis*, em todos os planos foram observados valores superiores na posição próxima à casca. Na espécie *Campomanesia xanthocarpa* para o plano transversal foram observados maiores valores para a casca, no radial da *Myrcia retorta* o maior resultado foi o da região próxima a medula, para os demais planos de corte destas espécies os valores foram semelhantes nas diferentes posições do tronco.

No parâmetro h a espécie *Campomanesia xanthocarpa* não apresentou variações entre as posições do tronco e os planos de corte. Nas diferentes posições do tronco, a *Plinia peruviana* apresentou resultados semelhantes para todos os planos e corte, as demais espécies apresentaram tendência dos menores valores serem observados para o plano transversal. Excluem-se desta tendência a posição próxima à casca da *Eugenia pyriformis*, com resultados semelhantes para todos os planos e a posição casca da *Myrcia retorta*, com valores superiores para o plano radial e semelhantes para os demais. Ao analisar o fator plano de corte, a espécie *Eugenia pyriformis* apresenta resultados semelhantes para todas as posições avaliadas do tronco. Para as espécies *Myrcia retorta* e *Plinia peruviana*, pode-se observar tendência da diminuição dos valores no sentido casca-medula.

2.3.1.3 Análise dos Componentes Principais

Para avaliar o comportamento dos parâmetros colorimétricos das espécies de Myrtaceae, frente a posição no tronco e o plano de corte, foram confeccionados gráficos utilizando a Análise dos Componentes Principais (PCA), considerando os espectros originais (FIGURA 2. 2) e os parâmetros L, a* e b* (FIGURA 2. 3).

FIGURA 2. 2 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA OS ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA NO VÍSEL ORIGINAIS MÉDIOS DAS ESPÉCIES DE MYRTACEAE.



FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: (A) Para todos os dados (planos transversal, tangencial e radial), (B) para as médias (planos transversal, tangencial e radial), (C) considerando as médias obtidas para o plano transversal e (D) considerando as médias obtidas para os planos longitudinais (radial e tangencial).

Na distribuição gráfica, fica evidente a separação existente entre a espécie *Eugenia pyriformis* e as demais analisadas. Esse comportamento é resultante da coloração das espécies, na Figura 2. 3, pode-se perceber que a tonalidade da coloração da madeira da espécie *Eugenia pyriformis* diferencia-se das demais. Assim, pode-se afirmar que utilizando os espectros de reflectância no visível originais de todas as amostras avaliadas, só foi possível diferenciar a espécie *Eugenia pyriformis* (FIGURA 2. 2A).

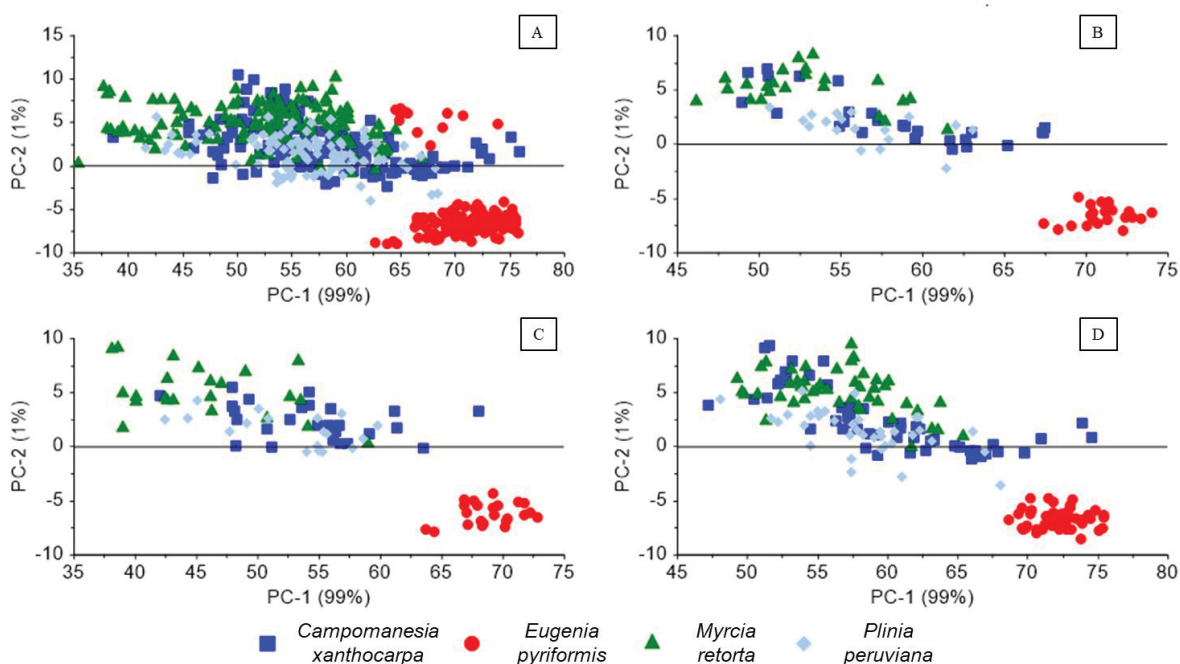
Para melhorar a visualização dos resultados, analisou-se os dados médios de todas as amostras mensuradas, conforme a Figura 2. 2B. Neste gráfico, fica ainda mais evidente a separação da espécie *Eugenia pyriformis* das outras espécies de Myrtaceae mensuradas. Ainda, visando verificar possíveis distinções entre as demais espécies, foram gerados gráficos utilizando as médias dos espectros de reflectância no visível para os planos transversal (FIGURA 2. 2C) e longitudinal (FIGURA 2. 2D).

Conforme o analisado anteriormente, na maior parte dos resultados não houve diferença entre os planos radial e tangencial, por isso, a análise gráfica para os

dois planos foi feita de forma conjunta. Contudo, todos os gráficos gerados utilizando o espectro original das amostras apresentaram resultados semelhantes.

O mesmo padrão anterior foi utilizado para a Análise dos Componentes Principais (PCA) dos parâmetros L, a* e b*, onde a Figura 2. 3A representa todos os dados, a Figura 2. 3B foi gerada utilizando as médias de todos os dados, a Figura 2. 3C a média dos dados do plano transversal e a Figura 2. 3D a média dos dados dos planos longitudinais (planos radial e tangencial). Pode-se observar que as amostras apresentaram o mesmo comportamento quando são avaliados somente os parâmetros L*, a* e b*.

FIGURA 2. 3 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) PARA OS PARÂMETROS L*, A* E B* DAS ESPÉCIES DE MYRTACEAE.



FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: (A) Para todos os dados (planos transversal, tangencial e radial), (B) para as médias (planos transversal, tangencial e radial), (C) considerando as médias obtidas para o plano transversal e (D) considerando as médias obtidas para os planos longitudinais (radial e tangencial).

Destaca-se ainda que somente a espécie *Eugenia pyriformis* diferenciou-se das demais. Além disso, utilizando este gráfico com todos os dados foram observados valores *outliers*, estes foram eliminados para as análises gráficas posteriores.

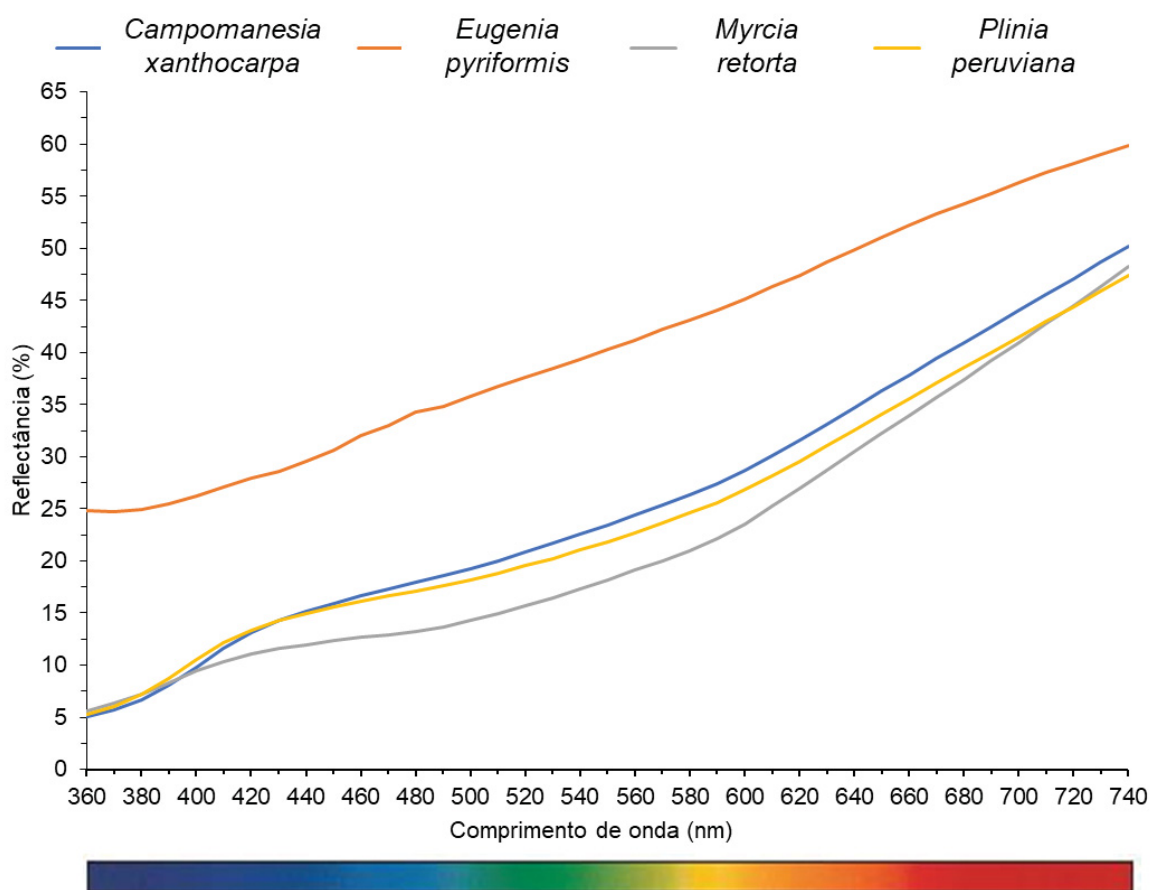
Para a média de todos os planos, além da separação dos resultados obtidos para a espécie *Eugenia pyriformis* foi observada a ligeira união dos resultados da

espécie *Plinia peruviana*, contudo, a mesma permaneceu agrupada com as espécies *Campomanesia xanthocarpa* e *Myrcia retorta*.

2.3.1.4 Análise dos espectros originais

Na Figura 2. 4, está apresentada a curva de reflectância das espécies caracterizadas entre 360 e 740 nanômetros (nm). Pode-se observar que a espécie *Eugenia pyriformis* apresentou valores maiores de reflectância, isto sugere que a espécie se diferencia das demais por ser mais clara, confirmando o comportamento dos parâmetros colorimétricos.

FIGURA 2. 4 - ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL ORIGINAIS MÉDIOS DAS ESPÉCIES DE MYRTACEAE.



FONTE: A autora (2021).

Ainda, de acordo com o gráfico, as espécies *Campomanesia xanthocarpa*, *Myrcia retorta* e *Plinia peruviana* apresentam curvas de reflectância semelhantes. Contudo, no intervalo entre 500 e 680, há uma ligeira separação das curvas, deste

modo, é possível inferir que este intervalo possui maior potencial para a diferenciação deste grupo de espécies.

2.3.2 Espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)

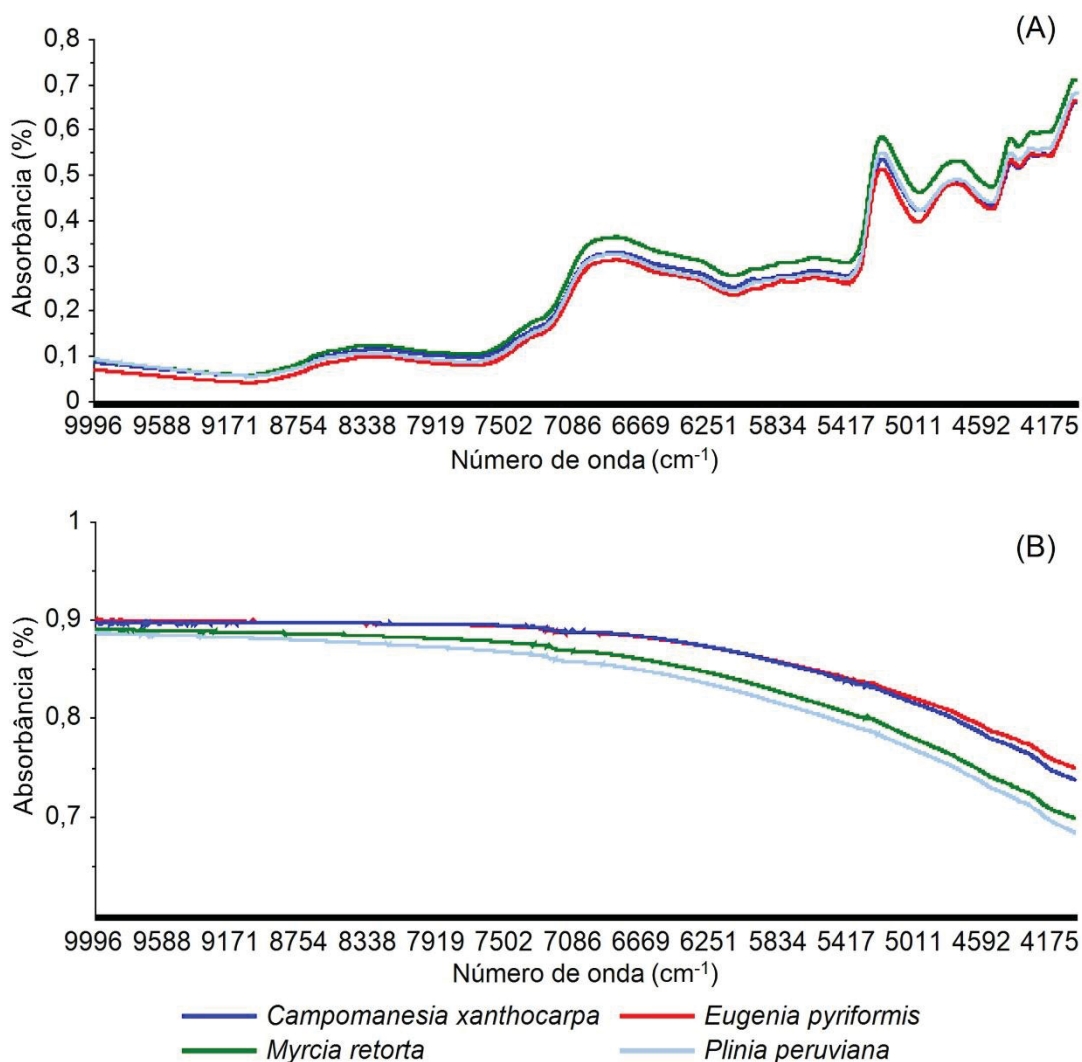
Uma avaliação inicial da madeira e do carvão por espécie foi feita com espectros NIR médios de cada um (FIGURA 2. 5). De maneira geral, todos os espectros das espécies de Myrtaceae são muito semelhantes, sendo necessário o uso de pré-tratamentos e técnicas quimiométricas (SOARES et al., 2017; RAMALHO, ANDRADE e HEIN, 2018). Esse comportamento também foi verificado por Pastore et al. (2011) em um estudo com espécies da família Meliaceae, Muñiz et al. (2016) com algumas espécies de Fabaceae e Nisgoski et al. (2018) avaliando espécies de caatinga.

Algumas diferenças foram observadas no espectro da madeira na região entre 5300 - 6000 cm^{-1} , atribuída aos componentes da parede celular e 4200-4440 cm^{-1} , números de onda correspondentes principalmente à celulose e hemicelulose. No carvão, também foi possível observar algumas regiões com distinções nos números de onda compreendidos entre 5000-5300 cm^{-1} , bandas atribuídas à celulose, hemicelulose e água (SCHWANNINGER et al., 2011).

Ainda, para a madeira foram observadas diferenças entre o espectro médio da *Myrcia retorta*, quando comparada às outras espécies. Para as demais, observou-se alta proximidade, principalmente para a *Campomanesia xanthocarpa* e *Eugenia pyriformis*, nos números de onda compreendidos entre 4500 e 4000 cm^{-1} . Vieira et al. (2019), ao avaliarem a reflectância da madeira no espectro visível das mesmas espécies de Myrtaceae, constataram diferença no ângulo de curvatura e o distanciamento somente da espécie *Eugenia pyriformis*.

Para o carvão, observou-se a diferenciação dos ângulos das curvas, que aproximaram as espécies em dois grupos distintos sendo um formado por *Eugenia pyriformis* e *Plinia peruviana* e o outro por *Campomanesia xanthocarpa* e *Myrcia retorta*. Sabe-se que durante o processo de carbonização da madeira, diferentes reações ocorrem na amostra, dentre eles, pode-se destacar a degradação dos principais componentes da sua estrutura. Sendo assim, mesmo que o processo de carbonização das espécies seja o mesmo, podem ocorrer variações químicas durante o processo de carbonização (SANTOS et al., 2016). Conseqüentemente, a distribuição e o agrupamento dos espectros NIR das espécies, também pode variar.

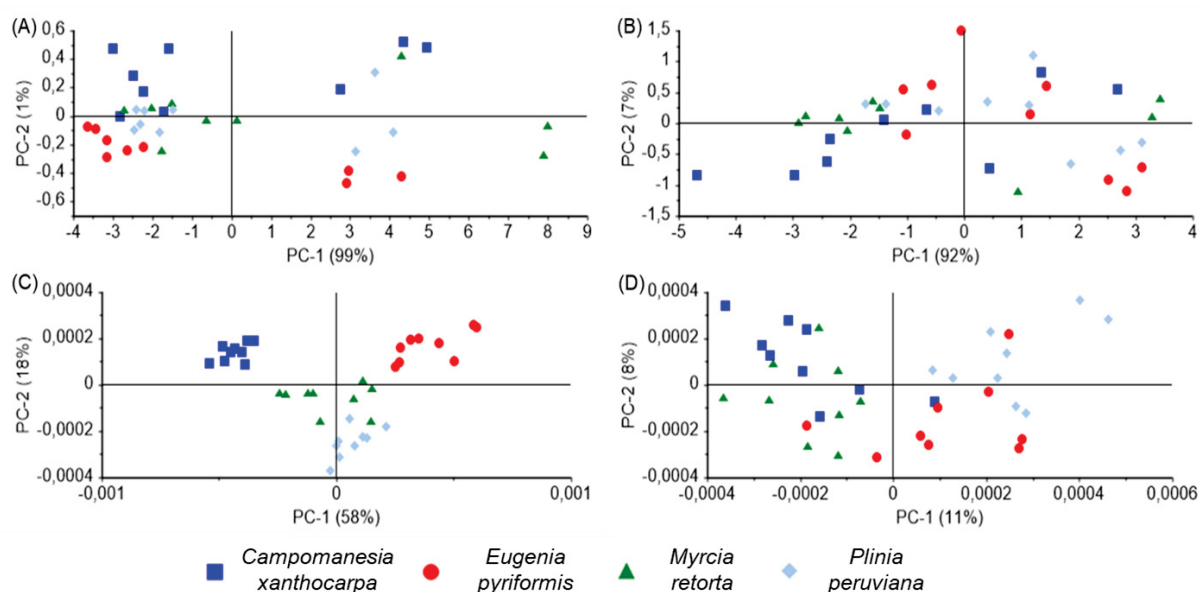
FIGURA 2. 5 - MÉDIAS DOS ESPECTROS NIR ORIGINAIS DA MADEIRA (A) E DO CARVÃO (B) DE *Campomanesia xanthocarpa*, *Eugenia pyriformis*, *Myrcia retorta* E *Plinia peruviana*.



FONTE: A autora (2021).

A análise de componentes principais (PCA), foi feita para avaliar o agrupamento das espécies na madeira e no carvão, baseados na média por espécie com os dados originais (FIGURA 2. 6 A, B) e na segunda derivada (FIGURA 2. 6 C, D).

FIGURA 2. 6 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS COM ESPECTROS NIR DAS ESPÉCIES DE MYRTACEAE.



FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: (A) Para os dados originais da madeira. (B) Para os dados originais do carvão. (C) Para os espectros transformados em segunda derivada da madeira. (D) Para os espectros transformados em segunda derivada do carvão.

Na análise da madeira com os dados originais (FIGURA 2. 6 A), o primeiro e o segundo componente representaram 99% e 1% da variação das amostras, mas não foi possível verificar uma distinção adequada das espécies. O mesmo foi observado para o carvão, com 92% para a PC1 e 7% para a PC2 (FIGURA 2. 6 B). Esses resultados estão de acordo com o descrito na literatura. Muñoz et al. (2016) avaliando a madeira e o carvão de cinco espécies de angelim não encontraram distinção das espécies com os dados originais, e Davrieux et al. (2010) também encontraram alta similaridade entre os espectros da madeira e do carvão de *Tabebuia serratifolia* e *Eucalyptus grandis*.

A análise dos espectros NIR pode ser realizada de diferentes formas, dentre elas, destaca-se a utilização da Análise de Componentes Principais (PCA). Para aprimorar ainda mais os resultados obtidos das análises multivariadas realizadas com os dados originais, sugere-se a utilização de pré-tratamentos dos espectros, possibilitando a redução dos ruídos presentes na leitura. A segunda derivada por exemplo, elimina a influência da linha de base e destaca as regiões com maior diferença entre madeira e carvão (HEIN, PAKKANEN, SANTOS, 2017; PASQUINI, 2018; MUNIZ et al., 2016)

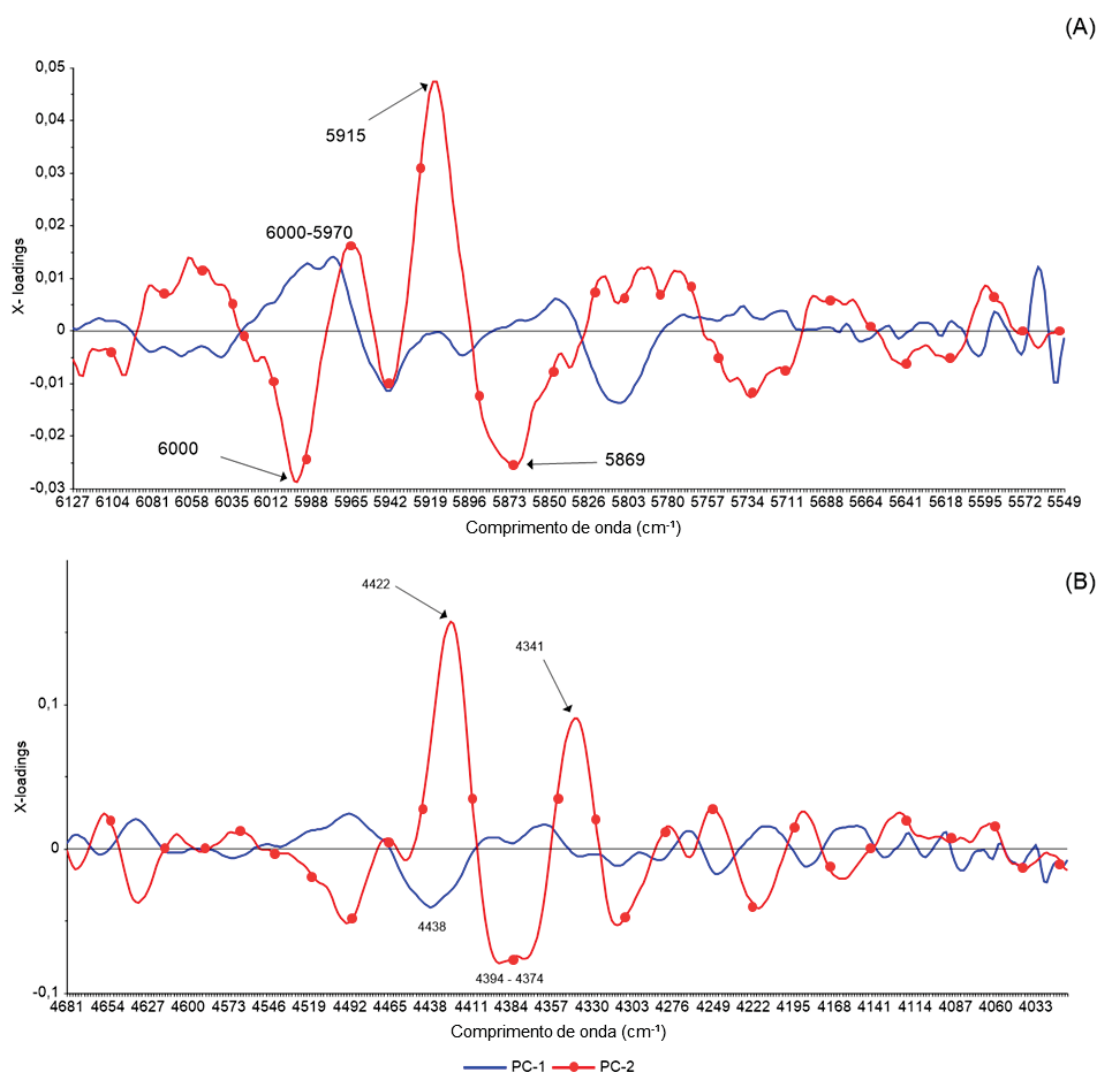
Outros trabalhos indicam a utilização de transformações matemáticas para melhorar a aderência dos dados na análise do PCA. Alguns utilizam a transformação em primeira derivada, contudo para o conjunto de dados das espécies de Myrtaceae, os resultados mais promissores foram observados quando a análise foi feita com a segunda derivada (MONTEIRO et al., 2010; SOARES et al., 2017).

No PCA com os espectros da madeira em segunda derivada (FIGURA 2. 6 C) foi possível observar a distinção das quatro espécies. Para o carvão (FIGURA 2. 6 D), uma tendência de agrupamento pode ser observada, com maior similaridade entre a *Campomanesia xanthocarpa* e a *Myrcia retorta*, e entre a *Eugenia pyriformis* e a *Plinia peruviana*. Diversos fatores podem explicar a diferença na degradação das espécies, dentre eles, destacam-se a estrutura anatômica e a degradação dos componentes das espécies. Stange et al. (2018), observaram semelhanças anatômicas entre esses mesmos grupos, diferenciados principalmente pelo diâmetro e frequência dos poros. Essas características podem gerar aproximações e distanciamentos dos espectros NIR, principalmente no plano transversal, pois a leitura é realizada a cada 4 cm^{-1} (NISGOSKI et al., 2018).

Utilizando os dados em segunda derivada, a distinção da madeira e do carvão é frequente na literatura, por exemplo, nos estudos de Horikawa, Tazuru e Sugiyama (2015); Hwang et al. (2016), Muñiz et al. (2016) e Nisgoski et al. (2018). Cabe salientar ainda, que Nisgoski et al. (2015) verificaram que os melhores resultados para a distinção da madeira de espécies de Moraceae e Euphorbiaceae, foram obtidos com a segunda derivada, porém no carvão só ocorreu a separação das famílias.

Na Figura 2. 7, pode-se observar as duas regiões com maiores contribuições dos componentes 1 e 2 da análise feita para os dados em segunda derivada da madeira. Para a PC1, destacam-se as bandas do intervalo entre 6000 – 5970 cm^{-1} (hemicelulose/extrativos) e 4438 cm^{-1} (todos os componentes). Na PC2, as maiores contribuições são das bandas 6000 cm^{-1} (hemicelulose), 5915 cm^{-1} (lignina), 5869 cm^{-1} (celulose), 4422 cm^{-1} (lignina), 4341 cm^{-1} (celulose) e o intervalo entre 4394 – 4374 cm^{-1} (celulose) (SCHWANNINGER et al., 2011). Cabe salientar, que para o carvão, foram observados picos semelhantes de maiores contribuições.

FIGURA 2. 7 - GRÁFICO DE LOADINGS DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (PC 1 E PC 2), UTILIZANDO OS ESPECTROS NIR EM SEGUNDA DERIVADA DA MADEIRA DE *Campomanesia xanthocarpa*, *Eugenia pyriformis*, *Myrcia retorta* E *Plinia peruviana*.

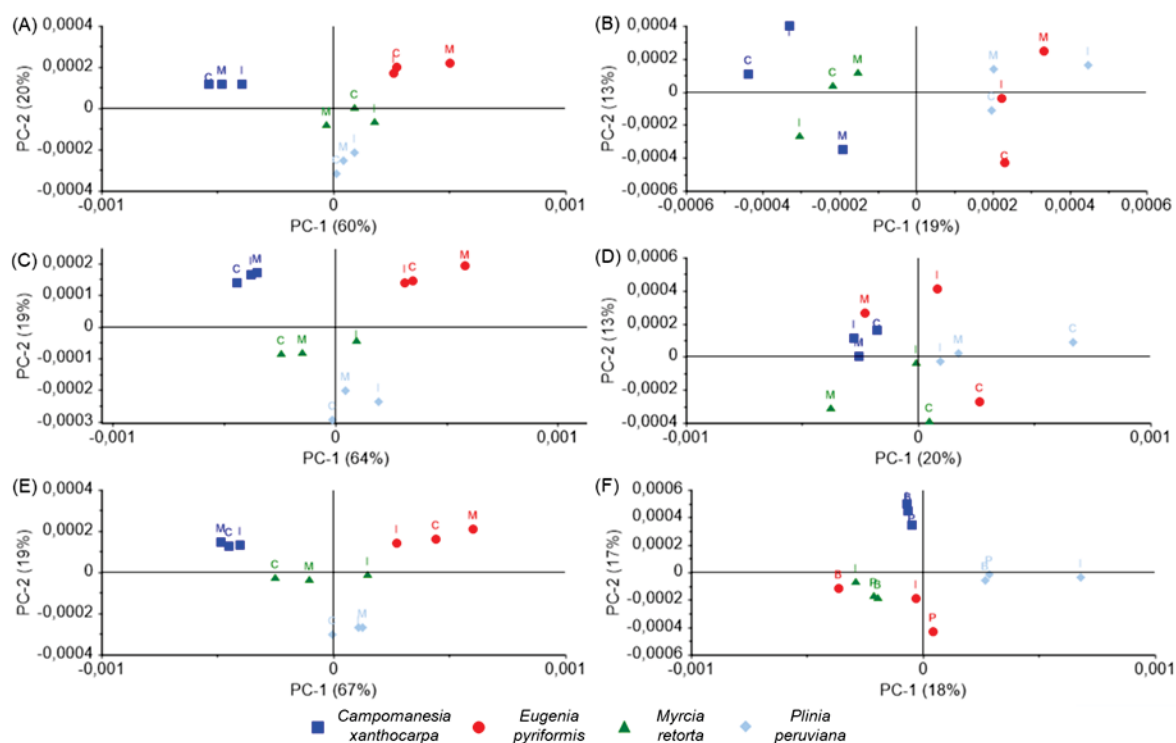


FONTE: A autora (2021).

Legenda: A) região entre 6000-5500 cm^{-1} ; B) região entre 4700-4000 cm^{-1} .

Após a análise do comportamento dos espectros da madeira e do carvão, verificou-se que os dados apresentaram melhores resultados quando analisados em segunda derivada. Sendo assim, foram feitas análises dos componentes principais dos espectros médios em segunda derivada para madeira nos planos transversal (FIGURA 2.8A), radial (FIGURA 2.8C), tangencial (FIGURA 2.8E) e para o carvão nos planos transversal (FIGURA 2.8B), radial (FIGURA 2.8D), tangencial (FIGURA 2.8F) para as espécies *Campomanesia xanthocarpa*, *Eugenia pyriformis*, *Myrcia retorta* e *Plinia peruviana*.

FIGURA 2. 8 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS, UTILIZANDO OS ESPECTROS NIR MÉDIOS EM SEGUNDA DERIVADA DAS ESPÉCIES DE MYRTACEAE PARA A MADEIRA E O CARVÃO NOS DIFERENTES PLANOS ANATÔMICOS.



FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: (A) Para a madeira nos planos transversal. (B) Para o carvão nos planos transversal. (C) Para a madeira no plano radial. (D) Para o carvão no plano radial. (D) Para a madeira no plano tangencial. (E) Para o carvão no plano tangencial. Onde: M = Medula, I = intermediário e C = casca.

O comportamento dos espectros, quando analisados os planos separados, foi mais interessante para a distinção das espécies para a madeira, onde houve o agrupamento dos indivíduos da mesma espécie em todos os planos. A avaliação do potencial do plano radial para a distinção de espécies também foi realizada por Hwang et al. (2016), no trabalho, os autores concluíram que amostras de madeiras compactadas apresentaram resultados mais homogêneos que os resultados obtidos nos blocos sólidos de madeira.

No carvão, ocorreu o agrupamento das espécies, formando dois conjuntos distintos, compostos pelas espécies *Campomanesia xanthocarpa/Myrcia retorta* e *Eugenia pyriformis/Plinia peruviana*. Cabe salientar, que esse comportamento está relacionado com os espectros médios dos carvões das espécies e as características dimensionais das estruturas anatômicas das espécies (STANGE et al., 2018). Além disso, foram constatados alguns distanciamentos dos espectros das amostras: no

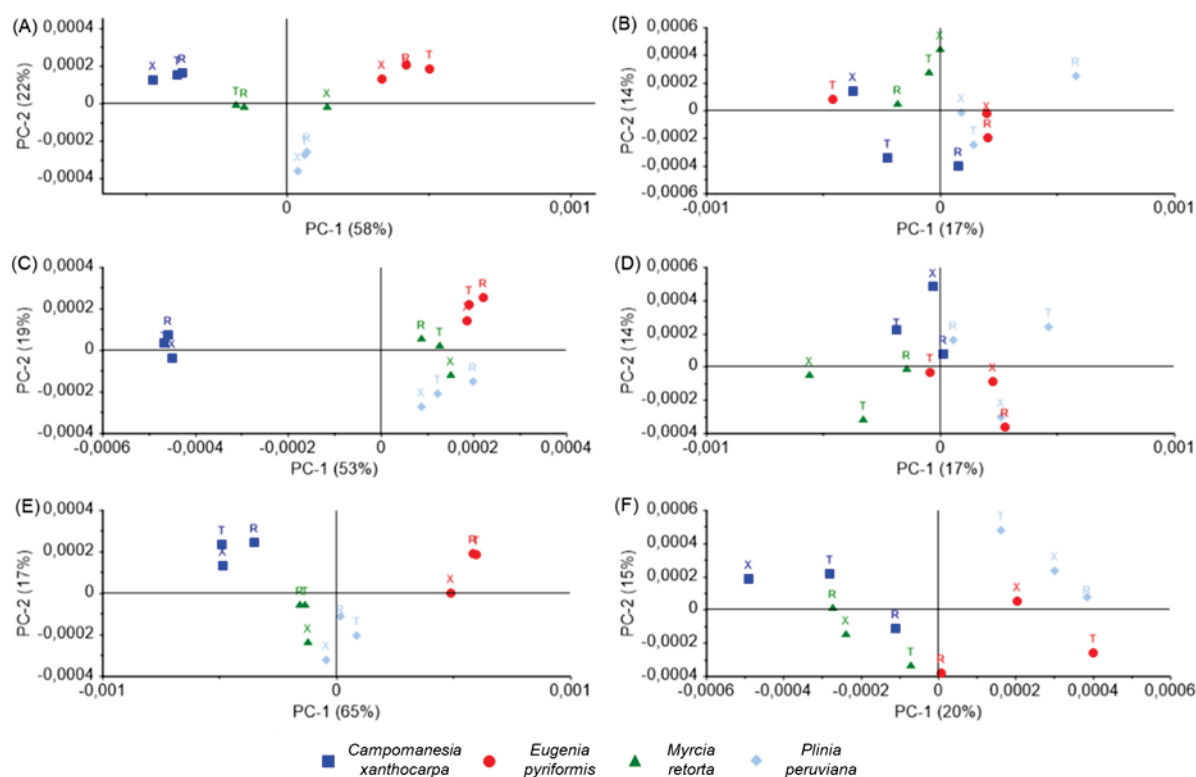
plano transversal, para a espécie *Campomanesia xanthocarpa* com os resultados obtidos na região próxima à medula e na intermediária para *Plinia peruviana*; e no plano radial, ocorreu a separação das amostras obtidas próximas da região da casca de *Eugenia pyriformis*. Já no plano tangencial, observou-se o distanciamento da amostra da casca na *Eugenia pyriformis*, as demais amostras agruparam-se adequadamente.

Comparando os resultados obtidos com os espectros NIR e os obtidos por Vieira et al. (2019) para os espectros do visível, observa-se que para as espécies de Myrtaceae os espectros NIR apresentaram melhores resultados, uma vez que, nos espectros do visível, somente a espécie *Eugenia pyriformis* diferenciou-se das demais.

Com esses resultados, considerando os planos anatômicos, pode-se determinar que para a fiscalização do comércio ilegal de madeira, indica-se a utilização de qualquer seção da amostra, para a distinção das espécies de Myrtaceae. Para o carvão, sugere-se a utilização de amostras próximas à casca para o plano transversal, no plano tangencial e radial amostras das regiões intermediárias e próximas à medula. Esse resultado é importante, uma vez que, em muitos casos, pelos diferentes sistemas de amostragem das toras, os planos radial e tangencial não estão bem orientados, assim, a escolha da região da amostragem, contribui para que a identificação da espécie seja feita corretamente.

Outro fator que foi analisado foi a posição no tronco onde a amostra foi retirada. Na Figura 2. 9, são avaliadas as seguintes situações: próximo à medula (FIGURA 2. 9 A), intermediário (FIGURA 2. 9 C), próximo à casca (FIGURA 2. 9 E) e para o carvão nas diferentes posições do tronco: próximo à medula (FIGURA 2. 9 B), intermediário (FIGURA 2. 9 D), próximo à casca (FIGURA 2. 9 F) para as espécies *Campomanesia xanthocarpa*, *Eugenia pyriformis*, *Myrcia retorta* e *Plinia peruviana*. No geral, semelhante às análises que consideraram os planos anatômicos, foram observados valores maiores para o PC1 da madeira quando comparados aos PC1 do carvão.

FIGURA 2. 9 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS, UTILIZANDO OS ESPECTROS NIR MÉDIOS PARA MADEIRA E PARA O CARVÃO DAS ESPÉCIES DE MYRTACEAE NAS DIFERENTES POSIÇÕES DO TRONCO.



FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: (A) Para a madeira na região próxima à medula. (B) Para o carvão na região próxima à medula. (C) Para a madeira na região intermediária. (D) Para o carvão na região intermediária. (E) Para a madeira na região próxima à casca. (F) Para o carvão na região próxima à casca. Onde: X = transversal, R = radial e T = tangencial.

Considerando a posição no tronco, para a madeira, todas apresentaram potencial para a distinção das espécies. Horikawa, Tazuru e Sugiyama (2015), também identificaram boa distinção de espécies ao avaliarem os espectros obtidos no cerne (região próxima à medula) e no alburno (região próxima à casca) da madeira de *Pinus densiflora* e *Pinus thunbergii*. Possivelmente, a presença de cerne a alburno distinto nas espécies analisadas também influenciou nos resultados obtidos para a diferença das espécies de Myrtaceae analisadas, conforme a Figura 2. 1.

Para o carvão, a melhor distinção para as espécies foi observada na região próxima à casca, resultando na separação das espécies em dois grupos distintos (*Campomanesia xanthocarpa*/*Myrcia retorta* e *Eugenia pyriformis*/*Plinia peruviana*). Na região próxima à medula, observou-se o distanciamento das amostras obtidas no plano tangencial da *Eugenia pyriformis* e radial da *Plinia peruviana*. Na região

intermediária, ocorreu o afastamento da espécie *Plinia peruviana*, no plano transversal.

Na Tabela 2. 5, são apresentados os resultados resumidos das espécies de Myrtaceae que se agruparam e diferenciaram-se das demais nos planos anatômicos e nas posições do tronco analisadas pelo PCA, utilizando os espectros transformados em segunda derivada.

TABELA 2. 5 - RESUMO DO AGRUPAMENTO DAS ESPÉCIES DE MYRTACEAE, QUANDO AVALIADO O ESPECTRO NIR EM SEGUNDA DERIVADA.

Material	Plano		
	Transversal	Radial	Tangencial
Madeira	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>
	<i>Eugenia pyriformis</i>	<i>Eugenia pyriformis</i>	<i>Eugenia pyriformis</i>
	<i>Myrcia retorta</i>	<i>Myrcia retorta</i>	<i>Myrcia retorta</i>
	<i>Plinia peruviana</i>	<i>Plinia peruviana</i>	<i>Plinia peruviana</i>
Carvão		<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>
	<i>Eugenia pyriformis</i>		
	<i>Myrcia retorta</i>	<i>Myrcia retorta</i>	<i>Myrcia retorta</i>
		<i>Plinia peruviana</i>	<i>Plinia peruviana</i>
Material	Posições no tronco		
	Medula	Intermediária	Casca
Madeira	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>
	<i>Eugenia pyriformis</i>	<i>Eugenia pyriformis</i>	<i>Eugenia pyriformis</i>
	<i>Myrcia retorta</i>	<i>Myrcia retorta</i>	<i>Myrcia retorta</i>
	<i>Plinia peruviana</i>	<i>Plinia peruviana</i>	<i>Plinia peruviana</i>
Carvão		<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>
	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>		<i>Eugenia pyriformis</i>
	<i>Myrcia retorta</i>	<i>Myrcia retorta</i>	<i>Myrcia retorta</i>
			<i>Plinia peruviana</i>

FONTE: A autora (2021).

Para a madeira, evidencia-se a adequação dos dados na análise realizada, pois houve a distinção de todas as espécies de Myrtaceae considerando todos os planos (transversal, tangencial e radial) e todas as posições (próximo à casca, intermediário e próximo à medula). Com esses resultados, comprova-se a diferença química dos componentes da madeira nas diferentes espécies (CASTRO et al., 2015).

2.4 CONCLUSÕES

Considerando os resultados colorimétricos gerais, pode-se concluir que:

- Ocorrem diferenças significativas entre os parâmetros das cores das 4 espécies de Myrtaceae.
- De acordo com a tabela de identificação de cor, sugerida por Camargos e Gonzalez (2001), as espécies: *Campomanesia xanthocarpa*, *Eugenia pyriformis*, *Myrcia retorta* e *Plinia peruviana*, são respectivamente: rosa-acinzentada, cinza-rosado, marrom-escura e oliva.
- Os fatores posição no tronco e plano de corte apresentam influência específica para cada espécie.
- Na Análise dos Componentes Principais (PCA), confeccionadas utilizando o espectro original e os valores obtidos para L^* , a^* e b^* , somente a *Eugenia pyriformis* diferencia-se das demais espécies.

Com os resultados obtidos da espectroscopia no infravermelho próximo, pode-se concluir que:

- os espectros das quatro espécies de Myrtaceae para madeira e carvão são semelhantes entre si.
- A análise de componentes principais realizada com todos os dados originais, apresentou baixa distinção das espécies. Para a análise em segunda derivada foram encontrados bons resultados para a diferenciação da madeira.
- Nos planos anatômicos, para a madeira, foi possível fazer a distinção das espécies em todos os planos e posições no tronco, para o carvão ainda ocorreram distanciamento de amostras.
- Sendo assim, pode-se concluir que a técnica apresentou bons resultados e potencial para auxiliar a fiscalização na discriminação principalmente da madeira das espécies de Myrtaceae.

REFERÊNCIAS

- ABRAF. Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012 / **ABRAF**. – Brasília: 2013. 144 p.
- ATAYDE, C.M.; GONÇALEZ, J.C.; CAMARGOS, J.A.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, p. 445-451, 2006.
- BARROS, S. V. S.; MUNIZ, G. I. B.; MATOS, J. L. M. Caracterização colorimétrica das madeiras de três espécies florestais da Amazônia. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 337-342, 2014.
- 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.
- CASTRO, J. P.; PERÍGOLO, D. M.; BIANCHI, M. L.; MORI, F. A.; DE SOUZA FONSECA, A.; ALVES, I. C. N.; DE VASCONCELLOS, F. J. Uso de espécies amazônicas para envelhecimento de bebidas destiladas: análises física e química da madeira. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 319-327, 2015.
- 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.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. In: **Revista Symposium**. 2008. p. 36-41.
- GARCIA, R. A.; OLIVEIRA, N. S.; NASCIMENTO, A. M.; SOUZA, N. D. Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade. **Cerne**, v.20, n.4, p. 509-517, 2014.
- GASPER, A. L.; SEVEGNANI, L.; VIBRANS, A. C.; MARCOS SOBRAL, M.; UHLMANN, A.; LINGNER, D. V.; RIGON JÚNIOR, M. J.; VERDI, M.; SANTOS, A. S.; DREVECK S.; KORTE, A. Inventário florístico florestal de Santa Catarina: espécies da Floresta Ombrófila Mista. **Rodriguésia**, v. 64, n. 2, p. 201-210, 2013.
- GONÇALEZ, J. C.; JANIN, G.; SANTORO, A. C. S.; COSTA, A. D.; VALLE, A. D. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, v. 20, n. 72, p. 47-58, 2001.

HEIN, P. R.G.; PAKKANEN, H.; SANTOS, A. A. Dos. Challenges in the use of Near Infrared Spectroscopy for improving wood quality: A review. **Forest Systems**, v. 26, n. 3, eR03, 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, 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, p. 156–167, 2016.

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.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção**. Ministério do Meio Ambiente. Portaria MMA nº 443, 2014.

MONTEIRO, T. C., SILVA, R. V. D., LIMA, J. T., HEIN, P. R. G., NAPOLI, A. Use of near infrared spectroscopy to distinguish carbonization processes and charcoal sources. **Cerne**, v. 16, n. 3, p. 381-390, 2010.

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, 2012.

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.; 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**, 20, p. 199 – 210. 2018.

NISGOSKI, S.; DE 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. **Revista Ciência da Madeira**, v. 6, n. 3, 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.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives - A review. **Analytica 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.; DE 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, p. 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, e008, 2018.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. D. C. O.; VITAL, B. R.; CASTRO, R. V. O.; VIDAURRE, G. B.; TRUGILHO, P. F.; CASTRO, A. F. N. M. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.

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.

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. **Revista 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. **Revista Ciência da Madeira**. v. 8, n. 1, p. 36-41, 2017.

SOARES, L. F.; DA 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.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática**: Guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. 2ª E.d. Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2008. 704p.

STANGE, R.; VIEIRA, H. C.; RIOS, P. D.; NISGOSKI, S. Wood and charcoal anatomy of four Myrtaceae species. **Cerne**, v. 24, n. 3, p. 190-200, 2018.

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

CAPÍTULO 3
ESPECTROSCOPIA E COLORIMETRIA DA MADEIRA DE ESPÉCIES DA
FAMÍLIA FABACEAE

Artigo publicado utilizando os resultados do Capítulo 3:

1. VIEIRA, H. C.; SILVA, E. L.; SANTOS, J. X.; MUÑIZ, G. I. B.; MORRONE, S. M.; NISGOSKI, S. Near-infrared spectroscopy for the distinction of wood and charcoal from Fabaceae species: comparison of ANN, KNN and SVM models. **Forest Systems**, v. 29, n. 3, e020, 2020.

RESUMO

A colorimetria e a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) podem ser consideradas técnicas alternativas para a identificação de espécies florestais. Porém, são necessários estudos que analisem esse potencial para as diversas Famílias botânicas existentes e para as diferentes tipologias vegetais. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de utilização da colorimetria e a técnica NIR para a diferenciação de espécies de Fabaceae nativas da Floresta Ombrófila Mista. Inicialmente, foram coletados discos à 1,30 metros do solo de três espécies de Fabaceae (*Inga vera*, *Machaerium paraguariense* e *Muelleria campestris*). Em seguida, os discos foram seccionados para abranger a variação radial da madeira (regiões próximas a casca, intermediária e próxima a medula). Em cada corpo de prova de madeira e carvão foram realizadas seis leituras em cada equipamento. Na colorimetria, dentre todos os parâmetros colorimétricos, o ângulo de tinta apresentou maior potencial de diferenciação das espécies. Considerando os fatores posição do tronco e plano anatômico, os parâmetros a^* e h não apresentaram diferença estatística independentemente da amostra analisada. Para os outros parâmetros as espécies apresentaram comportamentos distintos. Ainda para a colorimetria, na análise de componentes principais, os melhores resultados foram observados com os dados em segunda derivada. Na técnica NIR procedeu-se as análises dos espectros originais e em segunda derivada, análises de componentes principais e os modelos de classificação (ANN, SVM e k-NN). No geral para a técnica NIR, observou-se a separação dos espectros originais de acordo com o material analisado, porém não foram encontradas diferenças claras entre as médias das espécies. Nos espectros em segunda derivada dos materiais madeira e carvão, foram observadas distinções que evidenciam o comportamento das amostras durante o processo de carbonização. Para as Análises de Componentes Principais, foram observadas melhores distinções das espécies com os dados em segunda derivada. Esse resultado foi confirmado pelos modelos de classificação, uma vez que os espectros em segunda derivada apresentaram os melhores resultados em todos os grupos de análises avaliados. Dentre os modelos testados, para os dados em segunda derivada, o k-NN apresentou os melhores resultados independente do material analisado (madeira e carvão). Assim, pode-se concluir que a colorimetria e os espectros NIR das amostras de Fabaceae da Floresta Ombrófila Mista apresentaram potencial para a distinção de espécies.

Palavras-chave: Distinção de espécies. Métodos de classificação. Floresta Ombrófila Mista.

ABSTRACT

Colorimetry and Near Infrared Spectroscopy (NIR) can be considered an alternative technique for the identification of species. However, studies are needed to analyze this potential for several existing botanical families and for different plant types. In this sense, the objective of this work was to evaluate the potential use of colorimetry and the NIR technique for the differentiation of Fabaceae species native to Araucaria Forest. Discs of three species (*Inga vera*, *Machaerium paraguariense* and *Muelleria campestris*) were collected at 1.30 meters from the ground. They were sectioned to cover radial variation of the wood (regions near bark, intermediate and near pith). In each wood and charcoal specimen, six readings were performed on each equipment. In colorimetry, the mean values of hue angle (h^*) among the colorimetric parameters resulted in the highest potential for species discrimination. Regarding the radial trunk position and anatomical section, parameters a^* (green-red) and h were not statistically different, independent of the sample evaluated. For the other parameters, each species presented distinct results. Also, for colorimetry, principal component analysis with second derivative of visible spectra discriminated all species. In the NIR technique, the analysis of the original and second derivative spectra, principal component analysis and classification models (ANN, SVM and k-NN) were investigated. In general, the spectra can be separated according to the material analyzed (wood or charcoal), but no clear differences were found between the species. In the second derivative spectra of wood and charcoal, distinctions were observed that show the behavior of the samples during the carbonization process. For principal component analysis, better species distinctions were observed with the second derivative data. This result was confirmed by the classification models, since the second derivative spectra presented the best results in all analyzed groups. Among the tested models, for the second derivative data, the k-NN showed the best results regardless of the material analyzed. Thus, it can be concluded that the colorimetry and NIR spectra of Fabaceae samples from Araucaria Forest presented potential for species distinction.

Keywords: Identification of species. Classification models. Araucaria Forest.

3.1 INTRODUÇÃO

A alta diversidade de espécies nativas do Brasil e os diferentes aspectos de cada Bioma no país, já foi comprovada por diversos autores. De acordo com Filardi et al. (2018), a Mata Atlântica destaca-se por ser o bioma com o maior número de diferentes grupos taxonômicos (15179), dificultando assim, a distinção de espécies e consequentemente a fiscalização da comercialização de madeira.

Dentre as diferentes tipologias florestais da Mata Atlântica, a Floresta Ombrófila Mista (FOM) se destaca em Santa Catarina por ter 925 espécies de espermatófitas identificadas de acordo com o Inventário Florestal Florístico de Santa Catarina, sendo que, as famílias com os maiores números de representantes são na sequência: a Asteraceae (119 espécies), Myrtaceae (88 espécies) e Fabaceae (58 espécies) (GASPER et al., 2013). Cabe salientar ainda, que em alguns fragmentos florestais, a Família das Fabaceae pode ser a que apresenta maior riqueza (MARTINS et al., 2017).

Outro fator relevante e que deve ser levado em consideração, é que alguns dos representantes nativos dessa família possuem potencial de utilização no setor madeireiro, como por exemplo *Inga vera*, *Muelleria campestris* e *Machaerium paraguariense*. Contudo, muitas vezes a comercialização dessa madeira é feita de maneira ilegal. Isso acontece principalmente pela dificuldade de fiscalização, resultante da falta de material reprodutivo e vegetativo durante a comercialização de madeira. De forma geral, o controle é feito utilizando as características da estrutura anatômica do material e, por isso, muitas vezes o tempo necessário de análise para que a identificação seja feita de forma correta é longo.

Atualmente, buscam-se técnicas alternativas para a diferenciação das madeiras comercializadas. Nesse sentido, a cor da madeira pode ser um diferencial para a distinção de espécies, contudo somente a classificação visual é muito subjetiva e pode ser influenciada por diversos fatores, como por exemplo pela diferença de luminosidade (SILVA et al., 2015).

A utilização de colorímetros ou espectrofotômetros pode ser uma alternativa, uma vez que a análise é rápida e exige baixo nível de treinamento. Estudos já comprovaram o potencial da técnica para avaliar a modificação da madeira após tratamento térmico (CADEMARTORI et al., 2013), para caracterizar a madeira de *Eucalyptus* (MORI et al., 2005), para a distinção de espécies de Myrtaceae (VIEIRA et al., 2019b), entre outros.

Outra técnica com potencial é a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), uma técnica não destrutiva baseada na espectroscopia vibracional que realiza a exposição das amostras nos números de onda que variam entre 4.000 a 10.000 cm^{-1} . De acordo com Schwanninger, Rodrigues e Fackler (2011), a técnica tem como principais vantagens a alta velocidade de aquisição espectral e a alta gama de materiais que pode ser analisado.

A técnica NIR já foi utilizada para realizar pesquisas com inúmeras amostras sólidas, principalmente em frutas, carnes, cereais, produtos farmacêuticos, borracha, tecido, solo, sedimentos, madeira, entre outros (PASQUINI, 2018). Na utilização da técnica para a madeira, já foram relatados o potencial de utilização para investigar a composição química (POKE & RAYMOND, 2006), determinar o teor de umidade (KOBORI et al., 2013), para estimar a densidade (STIRLING et al., 2007), para prever as características anatômicas (VIANA et al., 2009) e as propriedades mecânicas (KELLEY et al., 2004), para a linha de produção dos materiais engenheirados de madeira (HUSTED et al., 2007), predição de propriedades da biomassa (ACQUAH et al., 2015), identificação de espécies (RUSS, FIRESOVA, GIGAC, 2009), entre outros usos potenciais.

Contudo, para que a diferenciação de espécies seja feita de forma correta, é necessário criar um banco de dados que englobe todas as características heterogêneas da madeira, uma vez que as características da madeira são influenciadas por diversos fatores, dentre eles, destacam-se a posição radial no fuste e o plano anatômico analisado.

Assim, o objetivo deste capítulo foi verificar o potencial de utilização dos parâmetros de cor e da espectroscopia no infravermelho próximo para a distinção da madeira e do carvão de três espécies de Fabaceae nativas (*Inga vera*, *Machaerium paraguariense* e *Muelleria campestris*) da Floresta Ombrófila Mista.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas três árvores de três espécies de Fabaceae, nativas da Floresta Ombrófila Mista. Tais indivíduos localizavam-se na área que acabou sendo inundada para a implantação da Hidrelétrica de São Roque – Santa Catarina. A área supracitada, encontra-se entre os municípios de São José do Cerrito, Campos Novos, Brunópolis, Curitibanos, Frei Rogério e Vargem.

Na Tabela 3. 1, estão apresentados os nomes científicos e populares das espécies, o número do registro das amostras no Herbário Lages da Universidade do Estado de Santa Catarina (LUSC), o diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores e as coordenadas geográficas do local de coleta.

TABELA 3. 1 - INFORMAÇÕES SOBRE OS NOMES CIENTÍFICOS E POPULARES DAS ESPÉCIES, O NÚMERO DO REGISTRO NO HERBÁRIO LUSC DAS AMOSTRAS, O DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) DAS ÁRVORES E AS COORDENADAS GEOGRÁFICAS.

Espécie	Nome popular	Número do Registro	DAP (cm)	Coordenada
<i>Inga vera</i> Willd.	Ingá	LUSC 6225	26	lat: -27.484728 long: -50.805003 WGS84
		LUSC 6226	18	lat: -27.484378 long: -50.805603 WGS84
		LUSC 6227	17,5	lat: -27.484228 long: -50.805753 WGS84
<i>Machaerium paraguariense</i> Hassl.	Jacaranda-branco	LUSC 6243	18,3	lat: -27.489997 long: -50.805392 WGS84
		LUSC 6244	12,9	lat: -27.489997 long: -50.805417 WGS84
		LUSC 6245	11	lat: -27.490006 long: -50.805433 WGS84
<i>Muelleria campestris</i> (Mart. ex Benth.) M.J. Silva & A.M.G. Azevedo	Pau-canzil	LUSC 6237	31,2	lat: -27.496892 long: -50.810606 WGS84
		LUSC 6238	25,1	lat: -27.497081 long: -50.810536 WGS84
		LUSC 6239	15	lat: -27.483572 long: -50.808342 WGS84

FONTE: A autora (2021).

Na sequência, foram coletados material botânico e dois discos de madeira, à 1,30 metros do solo, no diâmetro à altura do peito (DAP), de cada árvore; os discos apresentavam aproximadamente 5 centímetros de espessura. O material botânico e um disco foram utilizados para identificação, registro e armazenamento no LUSC; dessa forma, restaram 9 discos, um de cada indivíduo, que foram utilizados neste estudo (FIGURA 3. 1).

FIGURA 3. 1 - EXEMPLARES DOS DISCOS DE FABACEAE UTILIZADOS NO CAPÍTULO.



FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: (A) *Inga vera*, (B) *Machaerium paraguariense* e (C) *Muellera campestris*. Escala = 5 centímetros.

Visando abranger a maior variação da madeira, optou-se por fazer a amostragem dos corpos de prova em três regiões, a saber: na região próxima à casca, na região intermediária e, ainda, na região próxima à medula. Os corpos de prova apresentavam dimensões finais de aproximadamente 2x2x2 centímetros (comprimento, largura e espessura). Com o intuito de evitar a influência dos efeitos da oxidação e marcas da serra nas amostras, as superfícies foram previamente polidas manualmente com lixas de granulometria 100. De acordo com Pastore, Santos e Rubim (2004), a cor da madeira é influenciada pelas intempéries, sendo assim, para padronizar as análises, todas as amostras foram armazenadas em ambiente controlado (Temperatura $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e Umidade $50 \pm 2\%$) até as análises.

3.2.1 Análise da colorimetria

Para a caracterização colorimétrica da madeira, foi utilizado o sistema CIE $L^*a^*b^*$, por meio do espectrofotômetro Konica Minolta CM-5 e o programa SpectraMagic NX, com uma lâmpada de xenônio difusa, ângulo de observação de 10 graus e iluminante D65. Em cada corpo de prova foram realizadas duas leituras por plano de corte, obtendo-se os valores de L^* = luminosidade, a^* = coordenadas do eixo verde-vermelho e b^* = coordenada do eixo azul-amarelo. Além disso, foram calculados C^* = saturação e h = ângulo de tinta de acordo com as equações (1) e (2), respectivamente.

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

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

Posteriormente, comparou-se os resultados obtidos para cada espécie utilizando o teste de média de Scott-Knott para as variáveis normais e Kruskal-Wallis para as variáveis não paramétricas. Na análise fatorial foi utilizado o teste de Scott-Knott, considerando-se os fatores plano de corte (transversal, tangencial e radial) e a posição no tronco (próximo a medula, região intermediária e próximo a casca). A análise fatorial foi feita utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2008).

Para verificar o comportamento das diferentes espécies frente às características colorimétricas e os fatores avaliados foi utilizada a Análise de Componentes Principais (PCA) com os dados originais e em segunda derivada de Savitzky-Golay com 3 pontos de suavização, no software R (2018).

3.2.2 Análise da Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR)

Após a realização das análises na madeira, os corpos de prova foram carbonizados em forno mufla, com temperatura final de 450°C e taxa de aquecimento de 1,66 °C.min⁻¹, conforme o recomendado por Muñiz et al. (2012).

Para a obtenção dos espectros NIR da madeira e do carvão, utilizou-se um espectrômetro Tensor 37 (Bruker), adaptado com uma esfera de integração, operando em reflectância difusa (4.000 a 10.000 cm⁻¹) com resolução 4 cm⁻¹ e 64 de varreduras. Foram realizadas 2 leituras em cada plano anatômico (transversal, tangencial, radial), totalizando 6 leituras em cada corpo de prova. Posteriormente as análises foram realizadas utilizando os dados originais e com o espectro em segunda derivada de Savitzky-Golay, com 15 pontos de suavização.

3.2.2.1 Análise de componentes Principais

A análise de componentes principais (PCA) foi realizada no software R, utilizando os pacotes FactoMineR (LÊ, JOSSE e HUSSON 2008) e factoextra (KASSAMBARA e MUNDT, 2017). A PCA foi aplicada na madeira e no carvão, para verificar o comportamento das espécies em relação aos espectros obtidos no NIR, com dados originais e segunda derivada de Savitzky-Golay, com suavização = 15.

3.2.2.2 Modelos de Classificação

Para verificar o potencial de classificação das espécies de Fabaceae, foram utilizados os dados originais e em segunda derivada da madeira e do carvão.

Objetivando identificar o modelo de classificação mais adequado para os dados analisados, foram testados os modelos de Redes Neurais Artificiais (ANN), Support Vector Machines with Radial Basis Function Kernel (SVM) e k-Nearest Neighbors (k-NN).

Os modelos foram testados utilizando a função “train” para os diferentes métodos disponíveis no pacote “caret” no software R (KUHN et al., 2020). Na comparação entre os resultados utilizaram-se os valores de acurácia e precisão resultantes de cada conjunto de dados analisados.

No processo de construção de todos os modelos os dados foram divididos, utilizando a amostragem aleatória estratificada em função das espécies em conjunto de aprendizado (70%) e teste (30%).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Parâmetros colorimétricos médios das espécies

Na Tabela 3. 2, estão apresentados os resultados médios obtidos para os parâmetros L*, a*, b*, C* e h para as diferentes espécies de Fabaceae. Para a luminosidade (L*), de acordo com Nishino et al. (1998), todas as espécies estudadas podem ser classificadas como possuindo alta luminosidade (L*>54). Na comparação das médias, a espécie *Machaerium paraguariense* apresentou menores resultados e diferenciou-se das demais, podendo ser considerada a espécie mais escura dentre as analisadas (FIGURA 3.1A).

TABELA 3. 2 - COMPARAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS COLORIMÉTRICAS MÉDIAS DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.

Espécie	L* (##)	a* (##)	b* (##)	C* (##)	h (#)
<i>Inga vera</i>	68,01 A (9,66)	5,58 A (24,90)	20,49 B (10,50)	23,12 B (5,99)	75,79 C (1,57)
<i>Machaerium paraguariense</i>	65,27 B (7,32)	3,95 B (22,63)	20,03 B (20,44)	20,44 B (10,38)	78,70 B (3,65)
<i>Muelleria campestris</i>	68,45 A (10,15)	4,57 B (57,94)	28,91 A (12,67)	29,38 A (12,67)	81,01 A (6,02)

FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: Para cada parâmetro, médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si estatisticamente pelos testes de Scott – Knott (#) e Kruskal-Wallis (##) ao nível de 95% de significância. Coeficiente de variação em porcentagem entre parênteses.

As espécies de Fabaceae apresentaram resultados para a luminosidade que condizem com os descritos na literatura por Vieira et al. (2019b), que ao estudar os parâmetros colorimétricos de espécies de Myrtaceae da Floresta Ombrófila Mista, encontraram valores para luminosidade que variaram entre 50,01 e 69,75.

Quando avaliada a coordenada cromática a* (verde-vermelho), a espécie *I. vera* apresentou o maior resultado médio, sendo considerada a com maior pigmentação vermelha entre todas as espécies (BARROS, MUÑIZ e MATOS, 2014).

Na coordenada cromática b* e na saturação C, as espécies apresentaram o mesmo comportamento, sendo o maior resultado obtido pela espécie *Muelleria campestris*. Sabendo que quanto maior o valor de C, mais livre de branco a amostra está, pode-se afirmar que a espécie *Muelleria campestris* é a que possui menor quantidade de branco dentre as espécies analisadas (SILVA et al., 2017).

Para o ângulo de tinta (h), o menor resultado médio observado foi o da espécie *Inga vera* e o maior da *Muelleria campestris*. O parâmetro destacou-se por ser a característica colorimétrica com maior potencial para distinguir as amostras,

diferenciando estatisticamente as três espécies. Esse comportamento também foi enaltecido por Vieira et al. (2019b) para o ângulo de tinta e a coordenada cromática b^* nas espécies de Myrtaceae.

Ao utilizar a tabela de coloração proposta por Camargos e Gonzalez (2001), as espécies foram classificadas em proximidade com as seguintes colorações: Oliva-amarelado (*Inga vera*), Cinza-rosado (*Machaerium paraguariense*) e Amarelo-claro (*Muelleria campestris*).

3.3.1.1 Análise Fatorial

Na Figura 3. 2, estão representados os valores médios para a luminosidade nas diferentes espécies de Fabaceae. Para o fator plano anatômico, no geral, as espécies obtiveram os menores resultados para o transversal, com exceção das amostras de *Inga vera* retiradas na região próxima à casca que apresentaram resultados iguais em todos os planos anatômicos.

Atayde, Gonzalez e Camagos (2011), ao avaliarem as características colorimétricas entre as diferentes seções anatômicas da madeira de Muirapiranga (*Brosimum* sp.), encontraram resultados estatisticamente diferentes para a luminosidade média das amostras nos planos transversal, tangencial e radial.

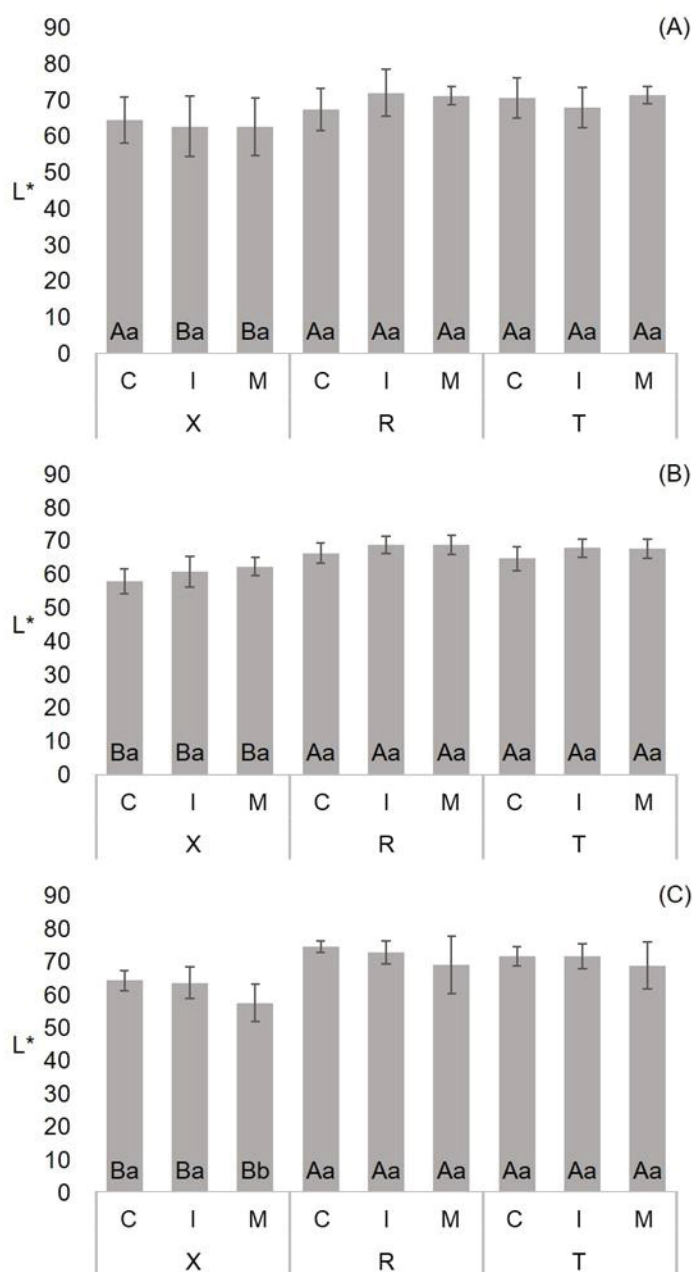
Ainda para luminosidade, considerando a posição no tronco, no geral, as espécies apresentaram resultados estatisticamente semelhantes, excluindo-se os obtidos para a *Muelleria campestris* no plano transversal, onde, os valores médios da região da medula foram menores que os obtidos nas outras posições do tronco.

Resultados estatisticamente semelhantes não são comuns nas pesquisas que avaliam a variação radial da luminosidade nas espécies florestais. Por exemplo, Moya et al. (2012), estudando os parâmetros colorimétricos da madeira de *Acacia mangium* e *Vochysia guatemalensis* encontraram valores de luminosidade estatisticamente diferentes para as amostras analisadas no cerne (região próxima a medula) e alborno (região próxima à casca).

Para a coordenada cromática a^* (FIGURA 3. 3), em todas as espécies, os resultados foram semelhantes, nos diferentes planos anatômicos e nas diferentes posições do tronco. É importante destacar, que esse comportamento também não é um padrão para todas as espécies madeireiras. Outros trabalhos já encontraram para a variação nos planos anatômicos valores menores para o transversal (ATAYDE, GONÇALEZ e CAMAGOS, 2011) e para a variação radial valores estatisticamente

diferentes entre as amostras de cerne (próximo a medula) e alburo (próximo a casca) (MOYA et al., 2012).

FIGURA 3. 2 - COMPARAÇÃO ENTRE AS LUMINOSIDADES (L*) DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.



FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: (A) *Inga vera*. (B) *Machaerium paraguariense*. (C) *Muellera campestris*. Para cada espécie, letras maiúsculas iguais na mesma posição do tronco entre os diferentes planos e letras minúsculas iguais no mesmo plano e entre as diferentes posições do tronco, não se diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott com 95% de significância. Onde: C = casca, I = intermediário, M = medula, X = transversal, R = radial e T = tangencial.

Ainda para luminosidade, considerando a posição no tronco, no geral, as espécies apresentaram resultados estatisticamente semelhantes, excluindo-se os

obtidos para a *Muelleria campestris* no plano transversal, onde, os valores médios da região da medula foram menores que os obtidos nas outras posições do tronco.

Resultados estatisticamente semelhantes não são comuns nas pesquisas que avaliam a variação radial da luminosidade nas espécies florestais. Por exemplo, Moya et al. (2012), estudando os parâmetros colorimétricos da madeira de *Acacia mangium* e *Vochysia guatemalensis* encontraram valores de luminosidade estatisticamente diferentes para as amostras analisadas no cerne (região próxima a medula) e alburno (região próxima à casca).

Para a coordenada cromática a^* (FIGURA 3. 3), em todas as espécies, os resultados foram semelhantes, nos diferentes planos anatômicos e nas diferentes posições do tronco. É importante destacar, que esse comportamento também não é um padrão para todas as espécies madeireiras. Outros trabalhos já encontraram para a variação nos planos anatômicos valores menores para o transversal (ATAYDE, GONÇALEZ e CAMAGOS, 2011) e para a variação radial valores estatisticamente diferentes entre as amostras de cerne (próximo a medula) e alburno (próximo a casca) (MOYA et al., 2012).

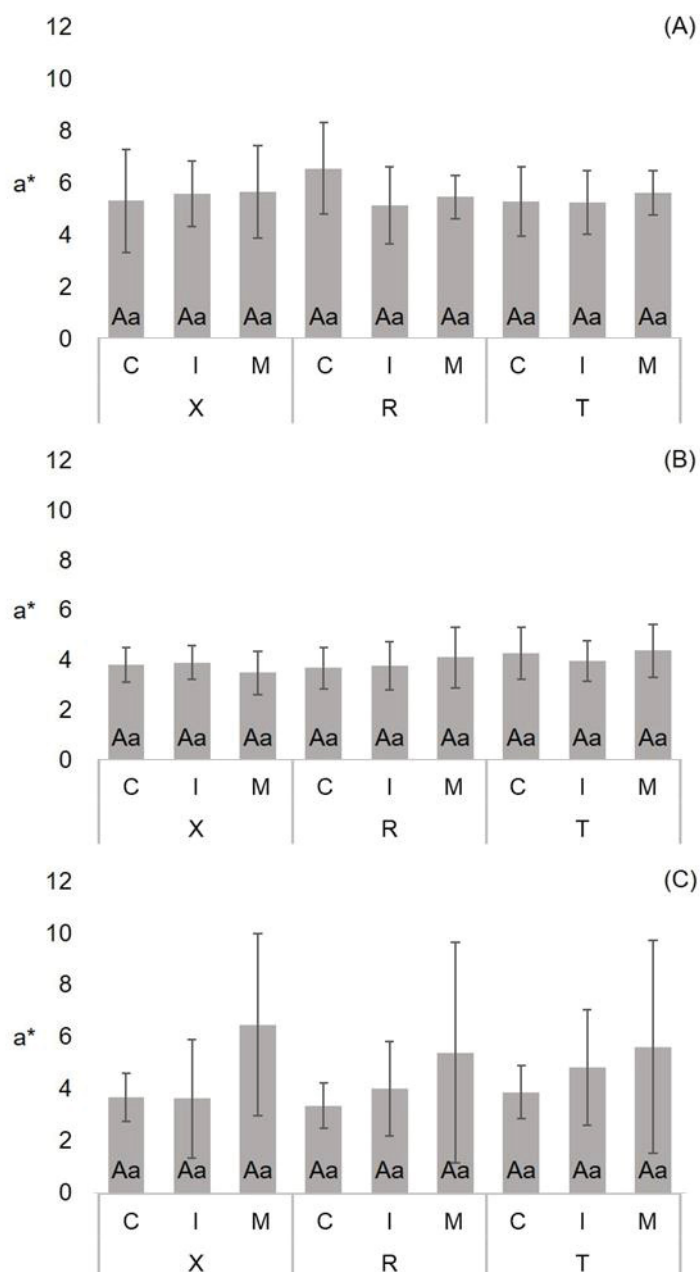
Outro fator importante e que deve ser destacado é o alto valor do desvio padrão das médias das amostras. Esse comportamento pode ser explicado pelas características anatômicas das espécies, pois ocorrem diferenças entre a coloração das fibras e do parênquima axial (predominantemente aliforme para *Inga vera*, em faixas para *Machaerium paraguariense* e *Muelleria campestris*), resultando em um alto contraste com as fibras (VIEIRA et al., 2019a).

Para a coordenada cromática b^* (FIGURA 3. 4) as espécies apresentaram comportamentos distintos. Nos diferentes planos e posições no tronco, a *Inga vera* apresentou alta semelhança estatística entre os resultados. Excluem-se dessa regra, para os planos anatômicos as menores médias obtidas no plano transversal na posição próxima à casca e, para as diferentes posições do tronco, as amostras analisadas próximas à medula no plano radial. Cabe salientar que Moya et al. (2012) também encontraram valores semelhantes para a coordenada cromática b^* para o cerne (amostra próxima à medula) e alburno (amostra próxima à casca) de *Acacia mangium* e *Vochysia guatemalensis*.

Para a *Machaerium paraguariense*, considerando a variação dos planos anatômicos, os menores resultados foram obtidos no plano transversal e para as

diferentes posições no tronco, observou-se a tendência de os maiores resultados serem constatados na região próxima à medula.

FIGURA 3. 3 - COMPARAÇÃO ENTRE A COORDENADA CROMÁTICA a^* DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE



FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: (A) *Inga vera*. (B) *Machaerium paraguariense*. (C) *Muelleria campestris*. Para cada espécie, letras maiúsculas iguais na mesma posição do tronco entre os diferentes planos e letras minúsculas iguais no mesmo plano e entre as diferentes posições do tronco, não se diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott com 95% de significância. Onde: C = casca, I = intermediário, M = medula, X = transversal, R = radial e T = tangencial.

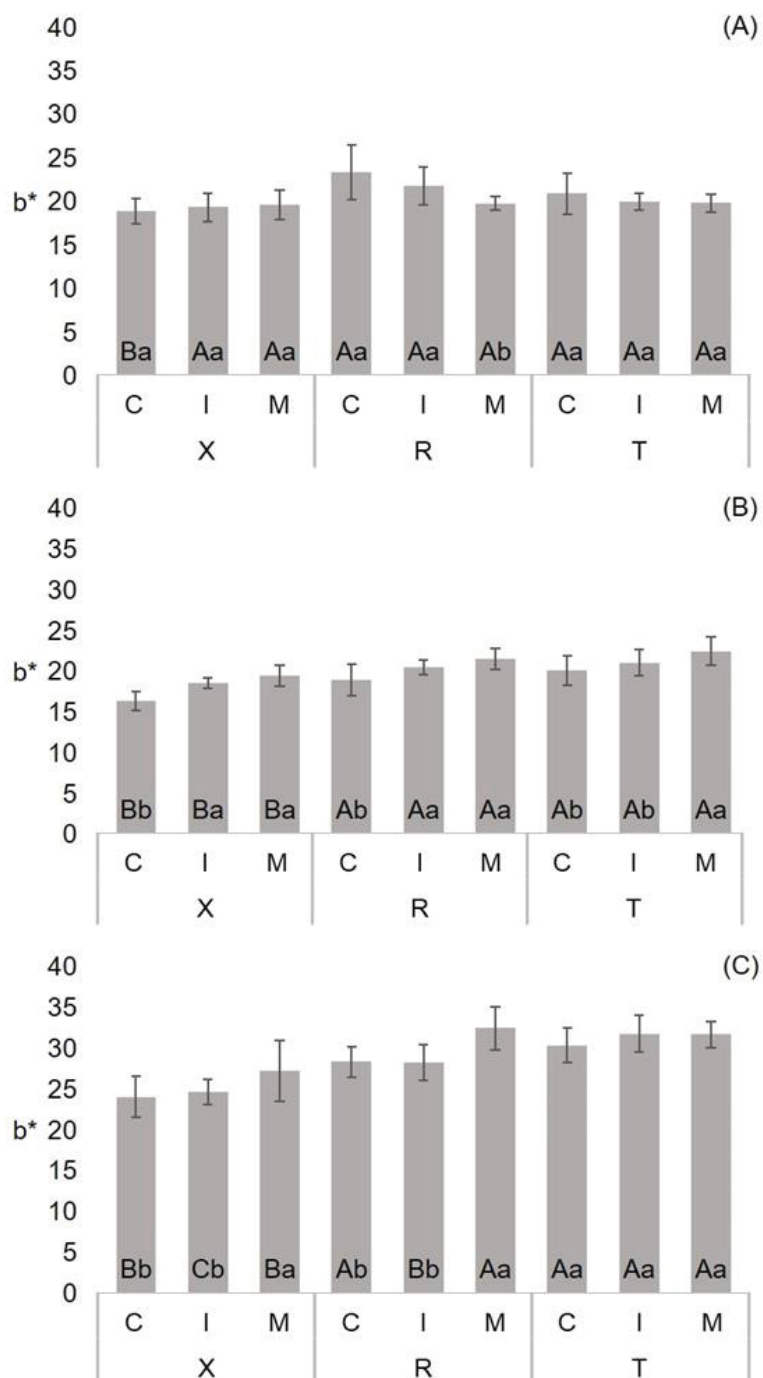
Na espécie *Muelleria campestris*, quando considerados os planos anatômicos, também foi constatada a tendência dos menores resultados para o plano transversal. Para a variação na posição do tronco, no plano tangencial não houve diferença entre as posições, já para os planos radial e transversal, os maiores resultados foram obtidos para a região da medula.

Quando considerada a saturação (FIGURA 3. 5), a espécie *Inga vera* no geral não apresentou diferença significativa entre as amostras, com exceção das retiradas próximas à casca nos planos transversal e tangencial que apresentaram valores inferiores ao do plano radial.

Para a *Machaerium paraguariense*, foram observadas diferenças significativas em todas as análises realizadas. No geral, para o fator plano anatômico, os menores valores são os do plano transversal, independentemente da posição do tronco avaliada. Quando consideradas as posições do tronco, nos planos radial e transversal o menor valor foi constatado para a amostra próxima à casca, para o plano tangencial o maior valor foi obtido na amostra analisada próxima à medula. De acordo com Ross (2010), esse comportamento pode ser justificado pela presença de cerne, por diferentes extrativos na madeira ou ainda, pelo histórico de crescimento e da saúde da árvore.

Para a *Muelleria campestris* nos planos de corte, os menores valores também foram observados para o transversal. Quando analisadas as posições no tronco, para o plano tangencial não houve diferença significativa, já para os planos transversal e radial os maiores valores foram obtidos para a região próxima à medula. Novamente, esse comportamento pode ser justificado pela presença de extrativos resultantes do processo de cernificação da madeira.

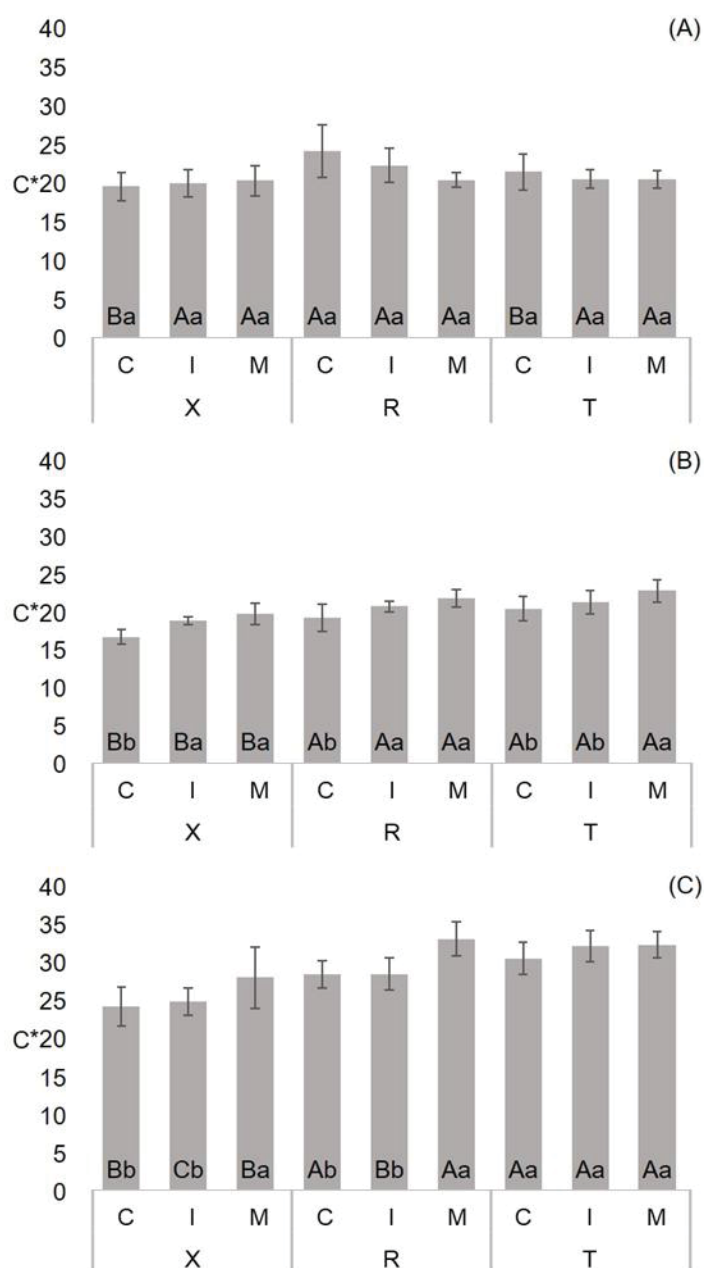
FIGURA 3. 4 - COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS CROMÁTICAS b^* DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.



FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: (A) *Inga vera*. (B) *Machaerium paraguariense*. (C) *Muelleria campestris*. Para cada espécie, letras maiúsculas iguais na mesma posição do tronco entre os diferentes planos e letras minúsculas iguais no mesmo plano e entre as diferentes posições do tronco, não se diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott com 95% de significância. Onde: C = casca, I = intermediário, M = medula, X = transversal, R = Radial e T = Tangencial.

FIGURA 3. 5 - COMPARAÇÃO ENTRE A SATURAÇÃO (C*) DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.



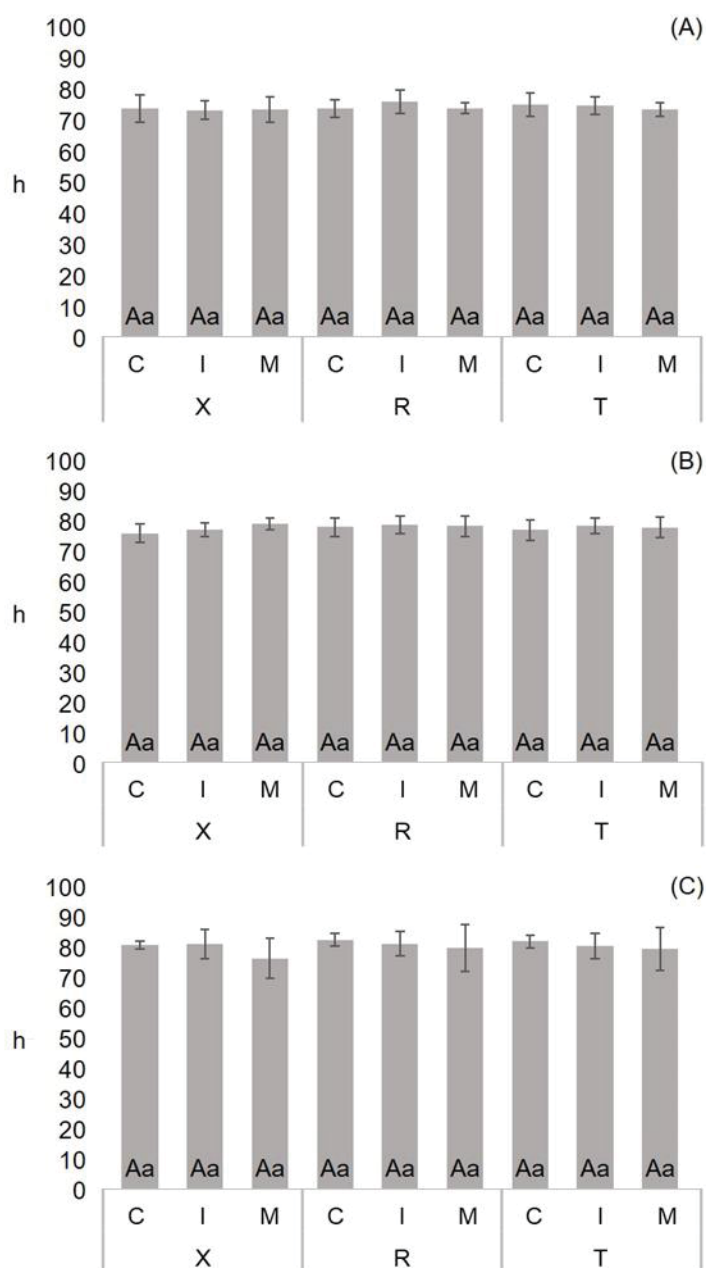
FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: (A) *Inga vera*. (B) *Machaerium paraguariense*. (C) *Muellera campestris*. Para cada espécie, letras maiúsculas iguais na mesma posição do tronco entre os diferentes planos e letras minúsculas iguais no mesmo plano e entre as diferentes posições do tronco, não se diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott com 95% de significância. Onde: C = casca, I = intermediário, M = medula, X = transversal, R = Radial e T = Tangencial.

Para o ângulo de tinta (FIGURA 3. 6), em todas as espécies também não foram observadas diferenças significativas independente do plano e da posição do

tronco analisados. Comportamento similar ao observado por Vieira et al. (2019b) para a espécie *Eugenia pyriformis*.

FIGURA 3. 6 - COMPARAÇÃO ENTRE OS ÂNGULOS DE TINTA (h) DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.



FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: (A) *Inga vera*. (B) *Machaerium paraguariense*. (C) *Muelleria campestris*. Para cada espécie, letras maiúsculas iguais na mesma posição do tronco entre os diferentes planos e letras minúsculas iguais no mesmo plano e entre as diferentes posições do tronco, não se diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott com 95% de significância. Onde: C = casca, I = intermediário, M = medula, X = transversal, R = Radial e T = Tangencial.

É importante destacar que a ausência da variação estatística nos resultados de ângulo de tinta, independentemente da posição no tronco e do plano anatômico

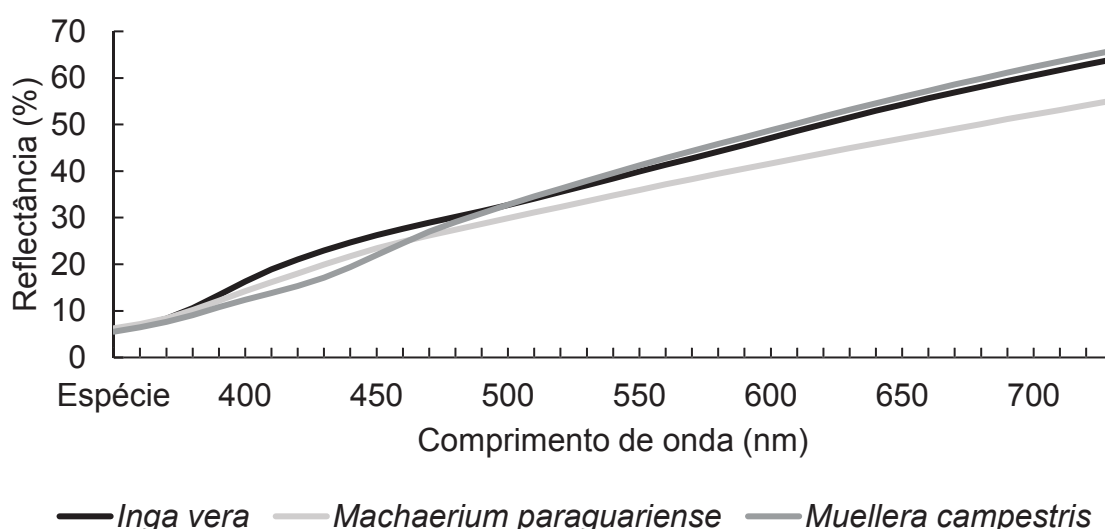
analisado para todas as espécies, pode ser uma vantagem prática quando considerada a distinção das espécies. Principalmente porque conforme a Tabela 3. 2, o ângulo de tinta (h) foi capaz de separar estatisticamente as três espécies estudadas.

Avaliando as madeiras de Muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.) e Seringueira (*Hevea brasiliensis*), Aufran e Gonzalez (2006) também encontraram resultados semelhantes de ângulo de tinta para os planos radial e tangencial.

3.3.1.2 Análise dos espectros

Para analisar o padrão de reflectância das amostras, os espectros médios das espécies estão apresentados na Figura 3. 7. No geral, pode-se observar uma tendência semelhante de reflectância, sendo percebida uma diferença sutil entre os comprimentos de onda entre 390 e 500 nm (cores violeta e azul). Outro fator relevante que pode ser observado é o agrupamento das espécies *Inga vera* e *Muelleria campestris*, a partir dos 500 nm.

FIGURA 3. 7 – ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL MÉDIOS DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.

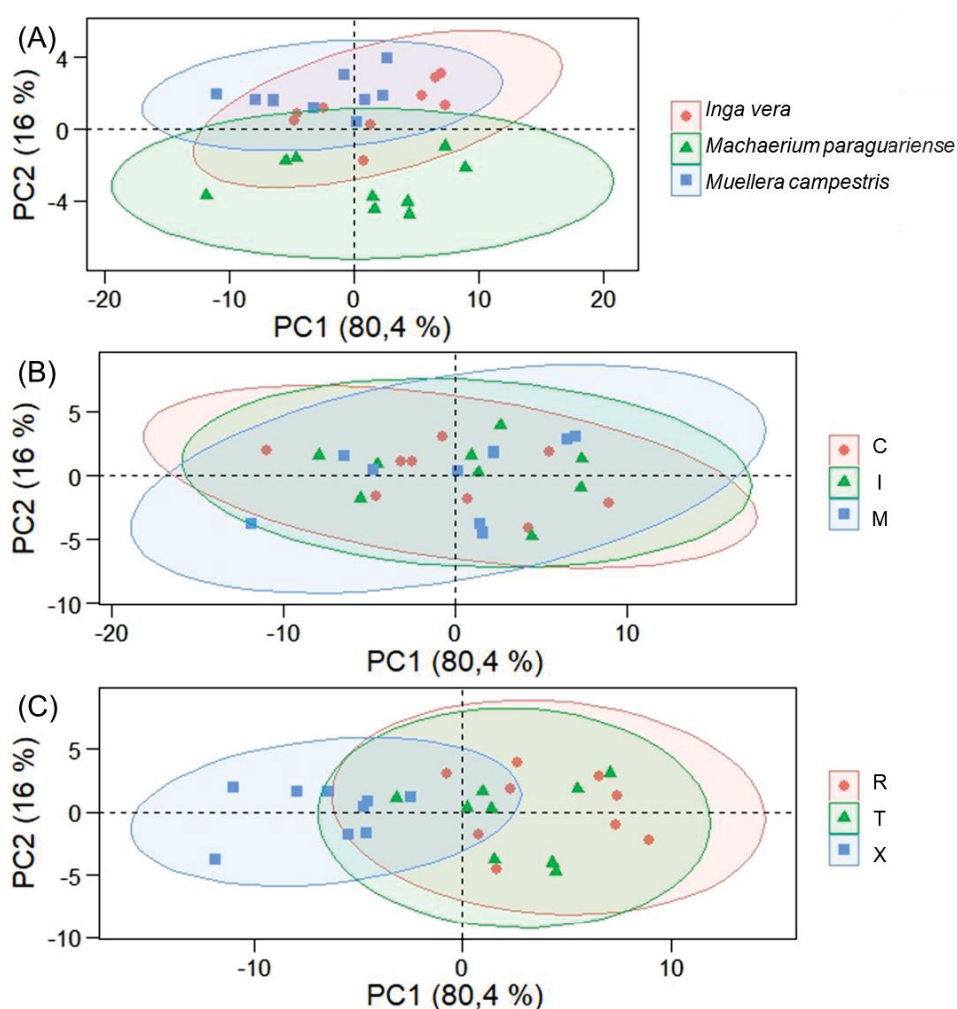


FONTE: A autora (2021).

Somente com a análise dos espectros não é possível afirmar se as mesmas podem ser distinguidas pelo espectro colorimétrico. Dessa forma, foi necessário utilizar a análise de componentes principais para verificar a real separação das espécies.

Na Figura 3. 8, está apresentada a análise de componentes principais feita utilizando somente os dados originais das amostras. Cabe salientar que a Figura 3. 8A representa a separação das amostras de acordo com as espécies, enquanto a Figura 3. 8B representa a separação das amostras de acordo com o plano anatômico e a Figura 3. 8C representa a separação das amostras considerando as diferentes posições no tronco analisadas.

FIGURA 3. 8 – GRÁFICO DE ESCORE DA ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) UTILIZANDO OS ESPECTROS ORIGINAIS DA COR DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE



FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: (A) Para as diferentes espécies de Fabaceae. (B) Para as diferentes posições no tronco. (C) Para os diferentes planos anatômicos.

De maneira geral, as amostras geram uma PCA em que a PC1 contribui com 80,4% e a PC2 contribui com 16%. Sobre a separação das espécies, diferentemente do observado na análise gráfica dos espectros, a espécie que possui uma tendência

de separação é a *Machaerium paraguariense*, em contrapartida, as espécies *Inga vera* e *Muelleria campestris* ainda estão sobrepostas. Esse comportamento fica ainda mais claro quando são avaliadas as elipses resultantes do comportamento médio de cada espécie. Nessa comparação fica evidente a distinção da *Machaerium paraguariense* quando comparada às outras espécies. Realizando a análise de componentes principais com espectros colorimétricos de diferentes espécies de eucalipto (Myrtaceae), Nisgoski et al. (2017) também observaram a tendência de separação das amostras de acordo com a cor predominante nas mesmas.

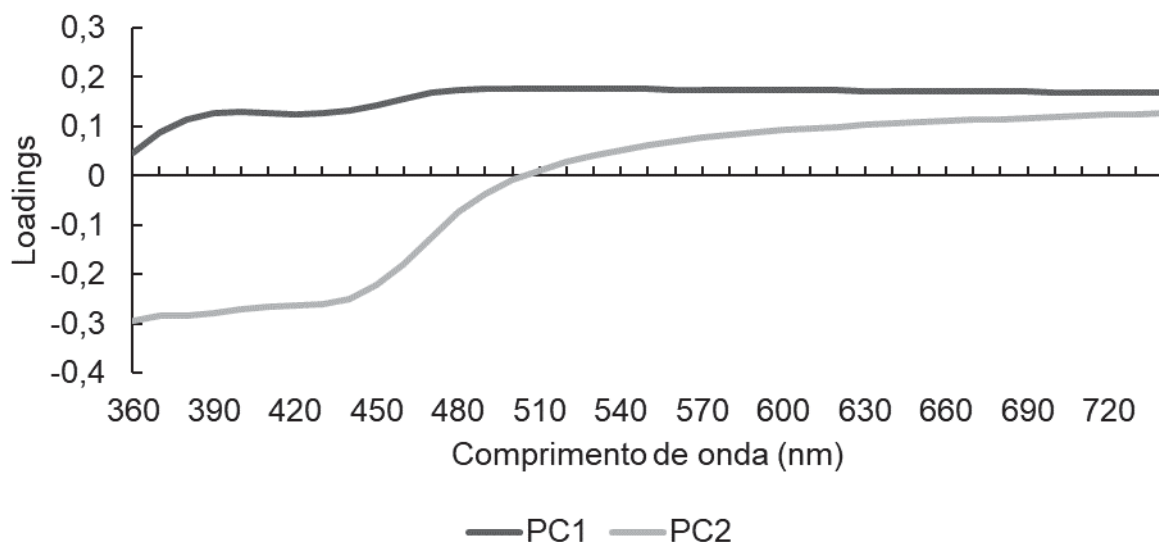
Na avaliação do comportamento das amostras em relação ao plano anatômico, as elipses resultantes também confirmam a tendência da separação entre o plano transversal e os longitudinais (radial e tangencial). Isso pode ser explicado principalmente pela estrutura anatômica da madeira das espécies. Sabe-se que as estruturas celulares estão dispostas de maneira diferenciada nos planos anatômicos, resultando em diferentes porcentagens de reflectância durante a análise.

Quando se observa o comportamento das amostras nas diferentes posições do tronco, percebe-se que é muito similar. Conseqüentemente, as elipses geradas por esses resultados estão predominantemente sobrepostas, principalmente quando considerados os resultados das amostras obtidas nas regiões intermediária e próxima a casca.

Na Figura 3. 9, está apresentado o gráfico de *Loadings* da PC1 e PC2, resultante da análise de componentes principais para os dados originais. Observa-se que no geral, as maiores contribuições para a PC1 estão distribuídas linearmente a partir de 480 nm (ciano, verde, amarelo, laranja e vermelho). Para a PC2, o comportamento foi contrário, sendo observadas as maiores contribuições antes dos 470 nm (violeta e azul). Possivelmente, essas alterações estão relacionadas com a diferença das tonalidades da madeira das espécies, conforme está apresentado na Figura 3. 1.

Visando reduzir os ruídos gerados nos espectros, os resultados médios das amostras foram transformados para segunda derivada. Portanto, na Figura 3. 10, pode-se observar a análise de componentes principais resultante da utilização dos dados em segunda derivada. Constatou-se uma contribuição de 45,1% para a PC1 e 17,5% para a PC2. Quando consideradas as espécies (FIGURA 3. 10A), percebe-se a maior separação das amostras em comparação com a análise realizada com os dados originais.

FIGURA 3. 9 - *LOADINGS*, DA PC1 E PC2, RESULTANTES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) REALIZADA COM OS ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.



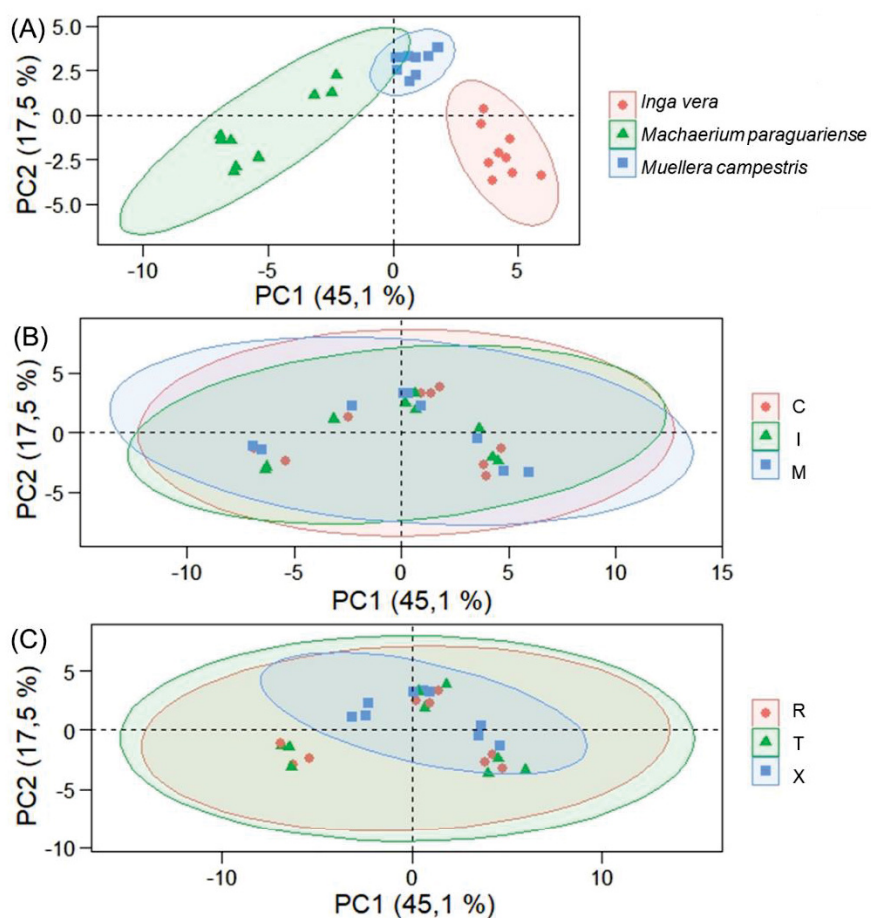
FONTE: A autora (2021).

Esse comportamento é ainda mais evidente, quando são observadas as elipses, sendo que a *Muelleria campestris* apresentou a maior concentração dos resultados dentre as espécies analisadas. Vieira et al. (2019b) também obtiveram uma melhor distinção das espécies utilizando os dados dos espectros do visível das amostras de Myrtaceae em segunda derivada.

Ao analisar a tendência média das amostras por posição no tronco (FIGURA 3. 10B) e por plano anatômico (FIGURA 3. 10C), o comportamento que foi observado nos dados originais se mantém. Para as posições no tronco observa-se uma maior aproximação das elipses formadas pelas médias das regiões próximas à casca e intermediária. Da mesma forma, os planos longitudinais (tangencial e radial) se agrupam formando elipses próximas, enquanto o plano transversal apresentou um comportamento diferenciado.

Analisando o gráfico de *Loadings* resultante da análise de componentes principais com os dados em segunda derivada (FIGURA 3. 11) há distribuição da contribuição das PC1 e PC2, ao longo de todo o espectro.

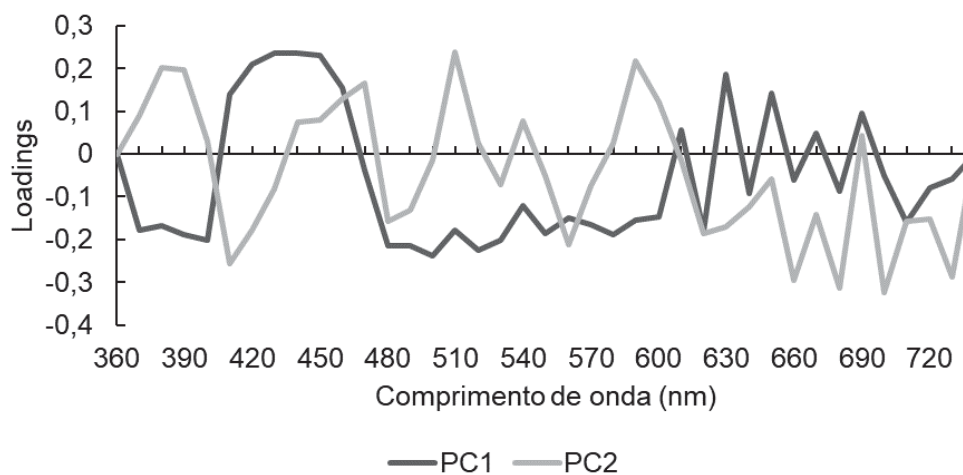
FIGURA 3. 10 – GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) UTILIZANDO OS ESPECTROS DA COR EM SEGUNDA DERIVADA DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.



FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: (A) Para as diferentes espécies de Fabaceae. (B) Para as diferentes posições no tronco. (C) Para os diferentes planos anatômicos.

FIGURA 3. 11 - LOADINGS, DA PC1 E PC2, RESULTANTES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) REALIZADA COM OS ESPECTROS DA COR EM SEGUNDA DERIVADA, DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.



FONTE: A autora (2021).

Isso significa que para a distinção das espécies utilizando a PCA, não há uma região específica que contribua mais com os resultados, ou seja, não é possível afirmar com precisão qual cor contribui mais para a separação das amostras quando os dados são analisados em segunda derivada.

3.3.2 Espectroscopia no infravermelho próximo

3.3.2.1 Espectros Médios

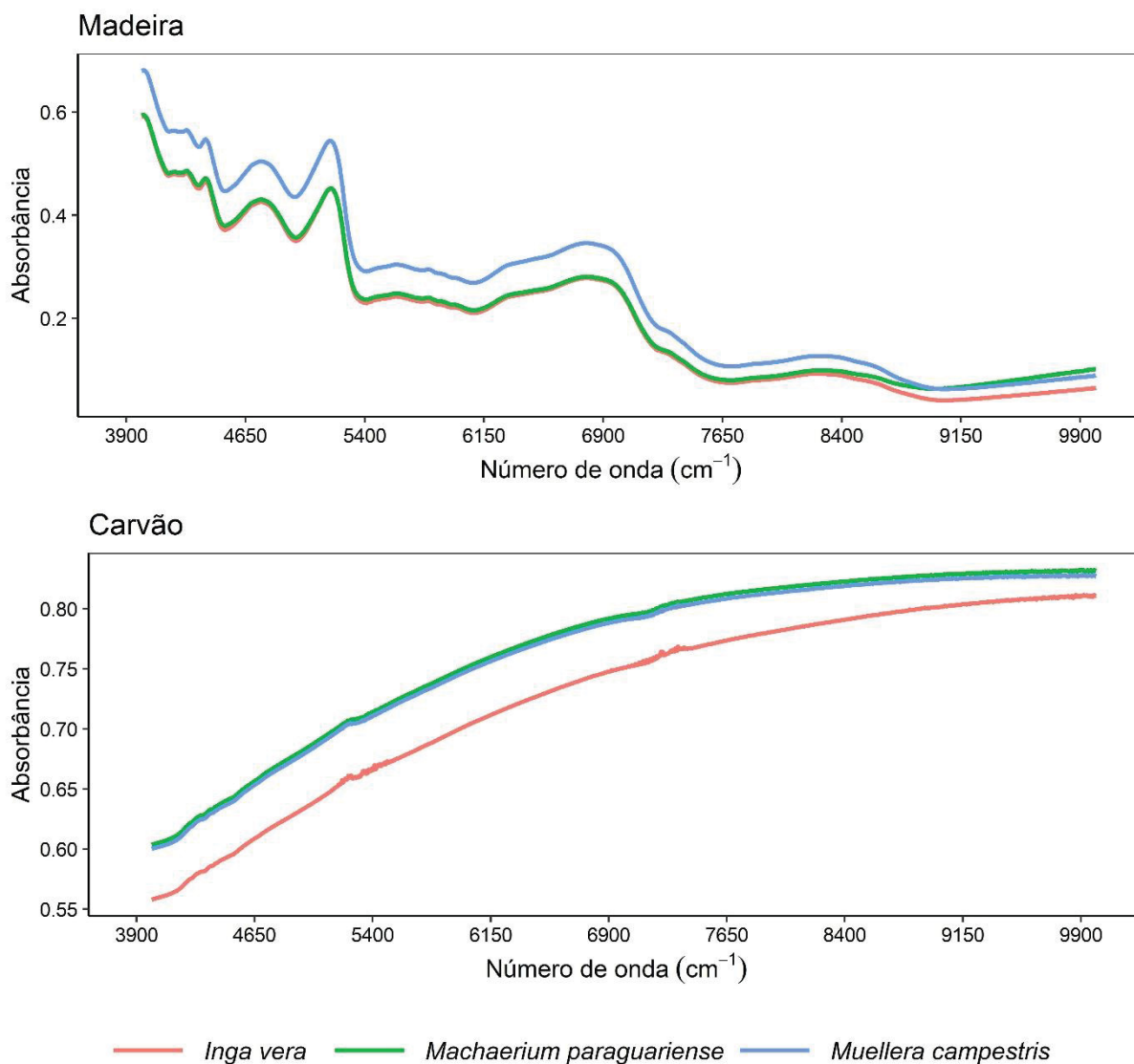
Na Figura 3. 12, estão apresentados os espectros originais médios da madeira e do carvão das espécies analisadas. Visualmente, percebe-se que os espectros médios das espécies são distintos de acordo com o material analisado. No geral, as médias dos espectros da madeira apresentaram absorção decrescente, conforme aumenta o número de onda. No carvão o comportamento foi oposto, sendo os menores valores de absorção observados para os menores números de onda e os maiores valores de absorção para os maiores números de onda.

Destaca-se ainda, que visualmente, não foi observada clara distinção entre as espécies nos diferentes materiais analisados. Outro fator relevante, é o alto grau de semelhança observado para os espectros médios obtidos para as amostras de madeira de *Inga vera* e *Machaerium paraguariense*, e a semelhança espectral das amostras de *Machaerium paraguariense* e *Muelleria campestris* para as médias das amostras de carvão.

Pode-se observar que os espectros médios gerados para as médias das amostras são muito semelhantes entre si, quando analisados os dois materiais. Esse comportamento também foi relatado por Soares et al. (2017) ao comparar os espectros obtidos para a madeira de 6 espécies da Floresta Amazônica. Além disso, Pastore et al. (2011) também relataram a dificuldade encontrada ao avaliar o potencial de utilização da técnica NIR para diferenciação de espécies nativas do Brasil.

Visualmente, para o carvão, pode-se perceber uma leve tendência de aproximação das curvas espectrais das espécies *Machaerium paraguariense* e *Muelleria campestris*. Considerando a madeira, a espécie *Machaerium paraguariense* possui o perfil espectral diferenciado nos números de onda maiores que 8500 cm^{-1} . Segundo Schwanninger, Rodrigues e Fackler (2011), essa faixa espectral é composta principalmente por lignina e hemiceluloses.

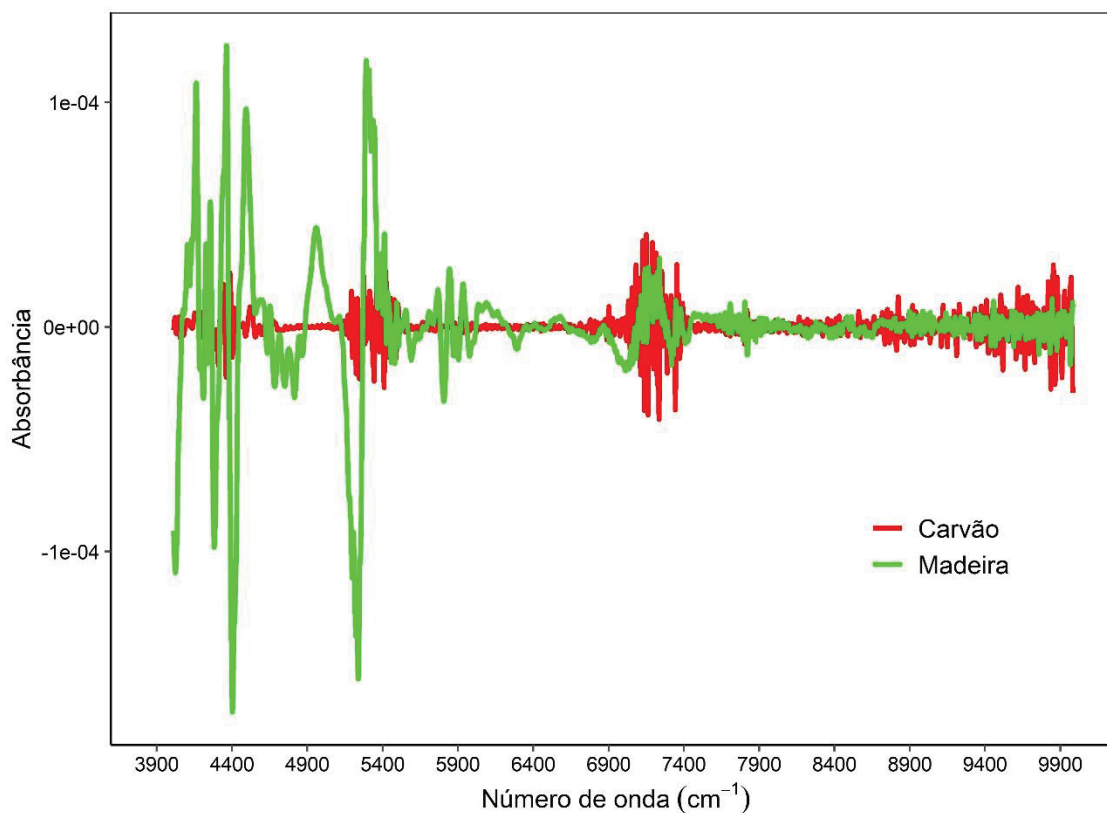
FIGURA 3. 12 - ESPECTROS NIR ORIGINAIS MÉDIOS DA MADEIRA E DO CARVÃO DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.



FONTE: A autora (2021).

Uma vez que os resultados obtidos originalmente apresentaram alto grau de semelhança, eles foram transformados para segunda derivada (FIGURA 3. 13). De maneira geral, pode-se observar uma semelhança sutil entre os picos de absorção. Contudo, há diferença entre as absorções dos dois materiais principalmente nos números de onda compreendidos entre 4000 - 4400 cm^{-1} , esse intervalo corresponde principalmente à celulose, hemicelulose e lignina (SCHWANNINGER, RODRIGUES e FACKLER, 2011).

FIGURA 3. 13 - ESPECTROS NIR DA MADEIRA E DO CARVÃO EM SEGUNDA DERIVADA DAS ESPÉCIES DE FABACEAE.



FONTE: A autora (2021).

A transformação dos dados originais é observada com frequência nos trabalhos que estudam o potencial de utilização do NIR para a distinção de espécies florestais. Alguns autores utilizam a transformação em primeira derivada (SOARES et al., 2017; NISGOSKI et al., 2018; BERGO et al., 2016), outros optam por utilizar os dados transformados em segunda derivada (VIEIRA et al., 2021; NISGOSKI et al., 2018; TOSCANO et al., 2017) e alguns optam pela transformação Standard Normal Variate - SNV (RAMALHO, ANDRADE e HEIN, 2018). No presente trabalho, foram realizados os três tipos de transformação, contudo, somente a transformação em segunda derivada será apresentada pois atingiu os melhores resultados.

3.3.2.2 Análise de Componentes Principais (PCA)

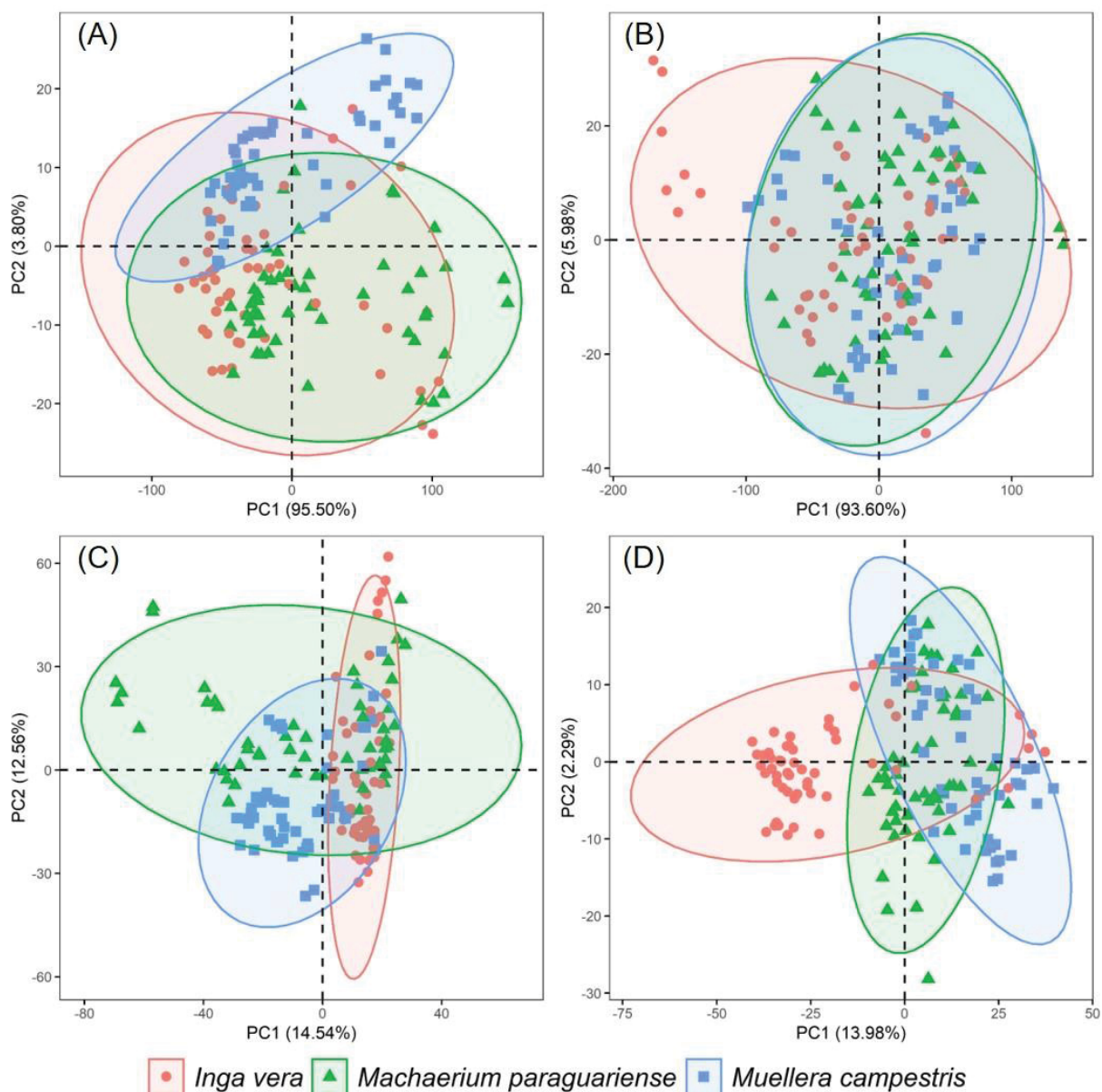
Na Figura 3. 14, estão apresentados os resultados das análises de componentes principais utilizando os espectros originais e em segunda derivada para a madeira e carvão das espécies de Fabaceae. Percebe-se alta distinção entre os

valores do PC1 e PC2 para os dados originais e em segunda derivada. Para a PCA resultante das análises com os espectros originais da madeira (FIGURA 3.14A), observou-se a aproximação das amostras de *Inga vera* e *Machaerium paraguariense*, além do distanciamento das amostras de *Muelleria campestris*. Porém, quando analisados os resultados obtidos para os espectros originais do carvão (FIGURA 3.14B), o comportamento foi diferenciado, uma vez que nesse caso, as espécies *Machaerium paraguariense* e *Muelleria campestris* apresentaram distribuição semelhantes, enquanto as amostras de *Inga vera* foram diferentes das demais.

Na Figura 3. 14C, observa-se os o resultado da PCA dos dados da madeira em segunda derivada. É possível identificar a melhor distribuição das espécies. Destaca-se ainda nesse sentido, o alto distanciamento das amostras de *Machaerium paraguariense* e a alta concentração das amostras de *Inga vera*. Entretanto, para a PCA resultante da análise dos espectros em segunda derivada do carvão (FIGURA 3.14D), o comportamento das amostras foi diferente, sendo que, a espécie *Inga vera* apresentou o maior distanciamento entre as espécies.

Além disso, comparando as análises de componentes principais, fica evidente a alteração nos componentes químicos das amostras durante o processo de carbonização das amostras de madeira. Assim, pode-se afirmar que esse processo alterou o resultado da análise de componentes principais feitos com os espectros obtidos pelo NIR. Sabe-se que durante a produção de carvão, ocorre a degradação de polímeros e mesmo que o processo de carbonização seja igual entre as espécies, as mudanças da composição química dependem do material inicial (NISGOSKI et al., 2015; DAVRIEUX et al., 2010; MUÑIZ et al., 2013). Então, isso é esperado, uma vez que, os espectros são respostas químicas.

FIGURA 3. 14 – GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) COM ESPECTROS NIR PARA AS ESPÉCIES DE FABACEAE.



FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: (A) Para os espectros NIR originais para a madeira. (B) Para os espectros NIR originais para o carvão. (C) Para os espectros NIR em segunda derivada para a madeira. (D) Para os espectros NIR em segunda derivada para o carvão

Ao verificar os resultados obtidos para os espectros em segunda derivada, para a madeira e o carvão foi observado um desempenho médio diferenciado em cada espécie e as elipses da Figura 3. 14 confirmam esse comportamento. A melhor distinção das espécies na PCA resultante da análise com os dados da madeira em

segunda derivada também foi observada por Hwang et al. (2016) ao identificar espécies de *Pinus* utilizadas na arquitetura histórica da Korea.

3.3.2.3 Modelos Discriminantes

A Tabela 3. 3 apresenta os resultados obtidos nos modelos de predição k-NN, SVM e ANN, para a identificação da madeira e do carvão, também utilizando os espectros originais e em segunda derivada.

TABELA 3. 3 - RESULTADOS DE ACURÁCIA E PRECISÃO PARA OS MODELOS DE PREDIÇÃO k-NN, SVM E ANN PARA A MADEIRA E O CARVÃO UTILIZANDO OS ESPECTROS NIR ORIGINAIS E EM SEGUNDA DERIVADA.

Modelo		k-NN (%)	SVM (%)	ANN (%)	
Acurácia	Madeira	Originais	75	81	94
		Segunda derivada	100	100	96
	Carvão	Originais	48	50	38
		Segunda derivada	83	52	77
Precisão	Madeira	Originais	76	82	95
		Segunda derivada	100	100	96
	Carvão	Originais	47	50	38
		Segunda derivada	83	69	77

FONTE: A autora (2021).

Em todas as situações de classificação testadas a utilização dos dados em segunda derivada melhorou os resultados para a acurácia e precisão dos modelos. Analisando os resultados de acurácia dos modelos testados nos dados originais para a madeira, os piores valores foram observados para os modelos k-NN e SVM (75%) e o melhor valor foi obtido para o modelo ANN (94%). Nos resultados obtidos para a precisão dos modelos testados com os dados originais da madeira, novamente, o modelo ANN obteve os melhores valores. Ainda em relação à madeira, todos os modelos apresentaram acurácia e precisão próximos a 100% para os espectros analisados em segunda derivada.

No geral, os dados do carvão apresentaram resultados inferiores quando comparados aos mesmos tratamentos realizados para a madeira. Nos dados originais e em segunda derivada do carvão, o melhor resultado de acurácia foi obtido para o

método k-NN, enquanto o modelo SVM apresentou os piores resultados para a precisão.

Horikawa, Tazuru e Sugiyama (2015) também observaram a predominância dos melhores resultados de identificação de *Diploxilons* japoneses anatomicamente semelhantes, utilizando os dados do NIR em segunda derivada e os modelos PLS-DA.

Os altos valores encontrados para a acurácia e precisão confirmam o potencial de utilização da técnica para a distinção das espécies *Inga vera*, *Machaerium paraguariense* e *Muelleria campestris*, quando há controle e padronização de diversos fatores, principalmente, da amostragem realizada e do teor de umidade das amostras analisadas. Hein, Pakkanen e Santos (2017), salientam que ainda são necessários mais estudos que avaliem os modelos gerados pelos espectros NIR em situações reais, para isso, seria necessário avaliar as amostras levando em consideração fatores como granulometria, qualidade da superfície entre outros.

3.4 CONCLUSÕES

Para a colorimetria:

Com os resultados médios dos parâmetros colorimétricos das três espécies, pode-se concluir que, o ângulo de tinta foi a característica colorimétrica que diferenciou numericamente as espécies de Fabaceae analisadas.

Além disso, as características colorimétricas (L^* , b^* , e C) são influenciadas de acordo com a posição no tronco analisada e o plano anatômico avaliado, sendo que cada espécie apresentou uma tendência específica para cada característica. Os parâmetros a^* e h não apresentaram diferença significativa independentemente da espécie, posição no tronco e plano anatômico avaliado.

Na análise gráfica dos espectros médios observou-se similaridade entre as espécies. Utilizando a análise de componentes principais, é possível afirmar que a utilização da segunda derivada foi capaz de distinguir de maneira mais eficiente as espécies de Fabaceae.

Para a espectroscopia no infravermelho próximo:

No geral, quando considerados os dados originais, as espécies *Inga vera*, *Machaerium paraguariense* e *Muelleria campestris* apresentaram espectros visivelmente parecidos para a madeira e o carvão. Sendo que, as espécies mais semelhantes foram: *Machaerium paraguariense* e *Muelleria campestris* para o carvão e *Muelleria campestris* e *Inga vera* para a madeira.

Entretanto, a Análise de Componente Principais utilizando principalmente os espectros transformados em segunda derivada foi capaz de identificar comportamento distinto entre as espécies analisadas. Esse comportamento foi confirmado pela análise discriminante dos modelos testados (SVM, k-NN e ANN), em que os espectros em segunda derivada apresentaram resultados superiores de acurácia e precisão em todos os modelos testados, tanto para a madeira quanto para o carvão.

Assim, pode-se afirmar que a espectroscopia no infravermelho próximo foi eficiente para a distinção da madeira e do carvão das espécies de Fabaceae nativas da Floresta Ombrófila Mista (*Inga vera*, *Machaerium paraguariense* e *Muelleria campestris*).

REFERÊNCIAS

- ACQUAH, G. E.; VIA, B. K.; FASINA, O. O.; ECKHARDT, L. G. Non-destructive prediction of the properties of forest biomass for chemical and bioenergy applications using near infrared spectroscopy. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 23, n. 2, p. 93-102, 2015.
- ATAYDE, C.M.; GONÇALEZ, J.C.; CAMARGOS, J.A.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, p. 445-451, 2006.
- BARROS, S. V. S.; MUNIZ, G. I. B.; 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.
- 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.; 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.
- 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.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. In: **Revista Symposium**. 2008. p. 36-41.
- FILARDI, F. L. R.; BARROS, F. D.; BAUMGRATZ, J. F. A.; BICUDO, C. E.; CAVALCANTI, T. B.; COELHO, M. A. N.; CERQUEIRA, R. M. Brazilian Flora 2020: innovation and collaboration to meet Target 1 of the Global Strategy for Plant Conservation (GSPC). **Rodriguésia**, v. 69, n. 4, p. 1513-1527, 2018.
- GASPER, A. L.; SEVEGNANI, L.; VIBRANS, A. C.; MARCOS SOBRAL, M.; UHLMANN, A.; LINGNER, D. V.; RIGON JÚNIOR, M. J.; VERDI, M.; SANTOS, A. S.;

DREVECK S.; KORTE, A. Inventário florístico florestal de Santa Catarina: espécies da Floresta Ombrófila Mista. **Rodriguésia**, v. 64, n. 2, p. 201-210, 2013.

HEIN, P. R. G.; PAKKANEN, H.; SANTOS, A. A. D. Challenges in the use of near infrared spectroscopy for improving wood quality: A review. **Forest Systems**, v. 26, n. 3, eR03, 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, p. 251–261, 2015.

HUSTED, S.; KHANNA, V.; CHAMBERS, K.; LANDERS, A. **Method and system using NIR spectroscopy for in-line monitoring and controlling content in continuous production of engineered wood products**. U.S. Patent Application n. 11/384,417, 27 set. 2007.

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, p. 156–167, 2016.

KASSAMBARA A; MUNDT F. Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. **R package version 1.0.5**. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>. 2017.

KELLEY, S. S.; RIALS, T. G.; SNELL, R.; GROOM, L. H.; SLUITER, A. Use of near infrared spectroscopy to measure the chemical and mechanical properties of solid wood. **Wood Science and Technology**, v. 38, n. 4, p. 257-276, 2004.

KOBORI, H.; GORRETTA, N.; RABATEL, G.; BELLON-MAUREL, V.; CHAIX, G.; ROGER, J. M.; TSUCHIKAWA, S. Applicability of Vis-NIR hyperspectral imaging for monitoring wood moisture content (MC). **Holzforschung**, v. 67, n. 3, p. 307-314, 2013.

KUHN, M.; WING, J.; WESTON, S.; WILLIAMS, A.; KEEFER, C.; ENGELHARDT, A.; BENESTY, M. Package 'caret'. **The R Journal**, 2020. 223 p.

LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. **Journal of statistical software**, v. 25, n. 1, p. 1-18, 2008.

MARTINS, P. J.; MAZON, J. A.; MARTINKOSKI, L.; BENIN, C. C.; WATZLAWICK, L. F. Dinâmica da vegetação arbórea em Floresta Ombrófila Mista Montana antropizada. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. e00097014, 2017.

MORI, C. L. S. O.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; TRUGILHO, P. F.; GONCALEZ, J. C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 137-146, 2005.

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

NISGOSKI, S.; DE 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. **Revista Ciência da Madeira**, v. 6, n. 3, p. 183-190, 2015.

NISGOSKI, S.; DE MUNIZ, 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.; GONÇALVES, T.A.P.; OLIVEIRA, N.M.; BITTENCOURT, S.C.; LIMA, G.S.; MUÑIZ, G.I.B. Influence of toposequence position of *Stryphnodendron adstringens* trees on discrimination of samples based on spectroscopy. **Ciência da Madeira**, v. 9, n. 2, p. 112-122, 2018.

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.

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

PASTORE, T. C.M.; SANTOS, K. O.; RUBIM, J. C. A spectrophotometric study on the effect of ultraviolet irradiation of four tropical hardwoods. **Bioresource technology**, v. 93, n. 1, p. 37-42, 2004.

PASTORE, T. C. M.; BRAGA, J. W. B.; CORADIN, V. T. R.; MAGALHÃES, W. L. E.; OKINO, E. Y. A.; CAMARGOS, J. A. A.; DE 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, p. 73-80, 2011.

POKE, F. S.; RAYMOND, C. A. Predicting extractives, lignin, and cellulose contents using near infrared spectroscopy on solid wood in *Eucalyptus globulus*. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v. 26, n. 2, p. 187-199, 2006.

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

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, e008, 2018.

ROSS, R. J. Wood handbook: wood as an engineering material. **USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190**, p. 590, 2010.

RUSS, A.; FIRESOVA, M.; GIGAC, J. Preliminary study of wood species identification by NIR spectroscopy. **Wood Research**, v. 54, n. 4, p. 23-32, 2009.

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.

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. **Revista 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. **Revista Ciência da Madeira**, v. 8, n. 1, p. 36-41, 2017.

SOARES, L. F.; DA 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.

STIRLING, R.; TRUNG, T.; BREUIL, C.; BICHO, P. Predicting wood decay and density using NIR spectroscopy. **Wood and Fiber Science**, v. 39, n. 3, p. 414-423, 2007.

TOSCANO, G.; RINNAN, Å.; PIZZI, A.; MANCINI, M. The use of near-infrared (NIR) spectroscopy and principal component analysis (PCA) to discriminate bark and wood of the most common species of the pellet sector. **Energy & Fuels**, v. 31, n. 3, p. 2814-2821, 2017.

VIANA, L. C.; TRUGILHO, P. F.; HEIN, P. R. G.; LIMA, J. T.; DA SILVA, J. R. M. Predicting the morphological characteristics and basic density of *Eucalyptus* wood using the NIRS technique. **Cerne**, v. 15, n. 4, p. 421-429, 2009.

VIEIRA, H. C.; SANTOS, J. X. D.; LOPES DA SILVA, E.; D'ANGELO RIOS, P.; DE MUÑIZ, G. I. B.; RIBEIRO MORRONE, S.; 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**, v. 16, n. 3, p. 188-195, 2021.

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

VIEIRA, H. C.; RIOS, P. D. A.; SANTOS, T. M. G. Q. M. D.; CUNHA, A. B. D.; BRAND, M. A.; DANIELLI, D.; FLOREZ, J. B.; STANGE, R.; BUSS, R.; HIGUCHI, P. Agrupamento e caracterização anatômica da madeira de espécies nativas da Floresta Ombrófila Mista. **Rodriguésia**, v. 70, e04382017, 2019a.

CAPÍTULO 4**ESPECTROSCOPIA E COLORIMETRIA DA MADEIRA DE ESPÉCIES DA
FAMÍLIA LAURACEAE**

RESUMO

Avaliar a utilização de técnicas alternativas para a distinção de espécies nativas é necessário, principalmente quando considerada a fiscalização na comercialização e no transporte da madeira e do carvão. Nesse sentido, o objetivo deste capítulo foi verificar o potencial de utilização da colorimetria da madeira e da espectroscopia do infravermelho próximo da madeira e do carvão para diferenciar quatro espécies de Lauraceae nativas da Floresta Ombrófila Mista (*Nectandra megapotamica*, *Ocotea diospyrifolia*, *Ocotea indecora* e *Ocotea puberula*). Foram coletados 12 discos de madeira, sendo 3 de cada uma das 4 espécies citadas, no estado de Santa Catarina. De cada disco foram retirados corpos de prova nas regiões próximas à casca, intermediária e próxima à medula. Posteriormente foram obtidos os espectros (nas regiões do visível e do infravermelho próximo – NIR) e os parâmetros colorimétricos da madeira, nos planos transversal, radial e tangencial. Em seguida, foi realizada a carbonização das amostras de madeira e a obtenção dos espectros NIR do carvão. Na análise estatística, foram comparados os parâmetros colorimétricos e os espectros do visível das espécies, para a média das espécies, para as posições no tronco e para os planos anatômicos. Avaliou-se também os espectros na análise de componentes principais (PCA) e o desempenho de modelos discriminantes (para os espectros do visível: k-NN, SVM e ANN, para o NIR: k-NN) nos dados originais e transformados em segunda derivada. De maneira geral, nos parâmetros colorimétricos, as espécies apresentaram comportamentos distintos, além disso, as coordenadas cromáticas a^* e b^* apresentaram maior potencial de diferenciação para as espécies de Lauraceae analisadas. Para variação das médias das posições no tronco e dos planos anatômicos foram observadas as seguintes tendências: menores resultados de L^* e C^* para a madeira localizada na região próxima à medula e menores médias para o plano transversal nos parâmetros L^* , b^* e h . Para os espectros no visível, a espécie *Ocotea indecora* apresentou um comportamento diferenciado das demais. Para todas as PCA realizadas com os dados transformados em segunda derivada foram observadas maiores distinções entre as espécies. Em todos os modelos discriminantes, os dados em segunda derivada apresentaram melhores resultados. Assim, pode-se afirmar que a utilização dos parâmetros colorimétricos e a técnica NIR em conjunto com análises quimiométricas apresentaram potencial de distinção da madeira e do carvão das espécies de Lauraceae (*Nectandra megapotamica*, *Ocotea diospyrifolia*, *Ocotea indecora* e *Ocotea puberula*) da Floresta Ombrófila Mista.

Palavras-chave: Carvão. Madeira. *Ocotea*. *Nectandra*.

ABSTRACT

Evaluating the use of alternative techniques for distinguishing native species is necessary, especially when considering the inspection in the commercialization and transport of wood and charcoal. In this sense, the objective of this chapter was to verify the potential use of wood colorimetry and near infrared spectroscopy of wood and charcoal to differentiate four species of Lauraceae native to the Araucaria Forest (*Nectandra megapotamica*, *Ocotea diospyrifolia*, *O. indecora* and *O. puberula*). Twelve wooden discs were collected, 3 from each of the 4 species mentioned, in the state of Santa Catarina. From each disc, specimens were removed in the regions close to the bark, intermediate and close to the pith. Afterwards, the spectra (in the visible and near infrared – NIR) and the colorimetric parameters of the wood were obtained, in the transverse, radial and tangential planes. Then, the carbonization of the wood samples was carried out and the NIR spectra of the charcoal were obtained. In the statistical analysis, the colorimetric parameters and the visible spectra of the species were compared, for the mean of the species, for the positions on the trunk and for the anatomical planes. The spectra in the principal component analysis (PCA) and the performance of discriminant models (for the visible spectra: k-NN, SVM and ANN, for the NIR: k-NN) in the original and second derivative data were also evaluated. In general, in the colorimetric parameters, the species showed different behaviors, in addition, the chromatic coordinates a^* and b^* showed greater differentiation potential for the analyzed species of Lauraceae. The following trends were observed for variation in the means of positions on the trunk and anatomical planes: lower results for L^* and C^* for the wood located in the region close to the pith and lower means for the transverse plane in the parameters L^* , b^* and h . For the visible spectra, the species *Ocotea indecora* presented a different behavior from the others. For all PCA performed with data transformed into second derivative, greater distinctions between species were observed. In all discriminant models, second derivative data showed better results. Thus, it can be stated that the use of colorimetric parameters and the NIR technique with the chemometric analysis showed potential for distinguishing wood and charcoal from Lauraceae species (*Nectandra megapotamica*, *Ocotea diospyrifolia*, *Ocotea indecora* and *Ocotea puberula*) from the Araucaria Forest.

Keywords: Charcoal. Wood. *Ocotea*. *Nectandra*.

4.1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a fiscalização e o controle dos produtos madeireiros comercializados são dificultados, principalmente pela ausência de materiais vegetativos e reprodutivos nas amostras, que às vezes estão indisponíveis durante o processo. Nesses casos, muitas vezes a anatomia da madeira pode ser considerada uma técnica viável para a identificação de espécies. Porém para que a identificação seja feita de forma precisa, é necessário alto nível de experiência do identificador, o tempo de análise pode ser longo e em alguns casos, pode não ser possível fazer a identificação à nível de espécie.

Dessa forma, a utilização de técnicas alternativas para a identificação de espécies pode ser uma solução para facilitar o processo e aumentar a sua precisão. Dentre as novas técnicas destacam-se a utilização da colorimetria e a espectroscopia no infravermelho próximo por serem métodos não destrutivos, rápidos e que possuem uma ampla gama de possíveis usos (TSUCHIKAWA & KOBORI, 2015; HEIN, PAKKANEN e SANTOS, 2017; CAMARGOS & GONÇALEZ, 2001). Quando considerado o potencial avaliado nas pesquisas, diversos trabalhos já utilizaram esses métodos para descrever e diferenciar as madeiras de espécies florestais (SILVA et al., 2017; SILVA et al., 2015; NISHINO et al., 1998; PASTORE et al., 2011; LAZARESCU et al., 2017; HORIKAWA, TAZURU e SUGIYAMA, 2015).

Entretanto, deve-se salientar que as características da madeira e conseqüentemente do carvão, podem sofrer influência de diversos fatores, como posição no tronco (MOYA et al., 2012), seção anatômica (ATAYDE, GONÇALEZ e CAMARGOS, 2011), altitude do crescimento da árvore (NISGOSKI et al., 2018), proveniência (SANDAK, SANDAK e NEGRI, 2011), variedades da espécie (NISGOSKI et al., 2016), entre outros fatores. Nesse sentido, ainda são poucos os estudos realizados com essas técnicas para caracterizar as madeiras e os carvões das espécies nativas da Mata Atlântica do Brasil. Destacam-se os trabalhos realizados por: Vieira et al. (2019b) utilizando a colorimetria para a distinção da madeira de espécies de Myrtaceae nativas da Floresta Ombrófila Mista, Vieira et al. (2021) para discriminar a madeira e o carvão de espécies de Myrtaceae da Floresta Ombrófila Mista utilizando a técnica NIR, Silva et al. (2015) caracterizaram a colorimetria da madeira de oito espécies nativas do estado do Rio Grande do Sul e Pace et al. (2019) realizaram a identificação da madeira de espécies nativas da mata Atlântica utilizando

a técnica NIR. Contudo, ainda não foram publicados trabalhos que utilizassem a madeira das espécies de Lauraceae da Floresta Ombrófila Mista.

De acordo com Gasper et al. (2013), a Família Lauraceae é a sexta com maior riqueza na Floresta Ombrófila Mista, no Estado de Santa Catarina. Diversos trabalhos relatam a complexidade e a alta dificuldade em diferenciar espécies de Lauraceae, principalmente pela sua diversidade e elevada uniformidade morfológica (HERDT & MELO JÚNIOR, 2016; OLIVEIRA, CALLADO e MARQUETE, 2001).

Sendo assim, o objetivo deste capítulo foi verificar o potencial de utilização da colorimetria da madeira e a espectroscopia no infravermelho próximo da madeira e do carvão, para diferenciar quatro espécies de Lauraceae nativas da Floresta Ombrófila Mista (*Nectandra megapotamica*, *Ocotea diospyrifolia*, *Ocotea indecora* e *Ocotea puberula*).

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Uma região de Floresta Ombrófila Mista, situada em Santa Catarina, seria inundada para implantação da Hidrelétrica de São Roque. Antes que isso acontecesse, foram coletadas três árvores de quatro espécies nativas de Lauraceae.

Na Tabela 4. 1, estão apresentados os nomes científicos e populares das espécies, o número do registro das amostras no Herbário Lages da Universidade do Estado de Santa Catarina (LUSC), o diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores e as coordenadas geográficas do local de coleta.

TABELA 4. 1 - INFORMAÇÕES SOBRE OS NOMES CIENTÍFICOS E POPULARES DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE, O NÚMERO DO REGISTRO NO HERBÁRIO LUSC DAS AMOSTRAS, O DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) DAS ÁRVORES E AS COORDENADAS GEOGRÁFICAS.

Espécie	Nome popular	Número do Registro	DAP (cm)	Coordenada
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	Canela-imbuia	LUSC 6264	27,7	lat: -27,4939 long: -50,803864 WGS84
		LUSC 6265	23,1	lat: -27,493872 long: -50,803839 WGS84
		LUSC 6266	35,2	lat: -27,493783 long: -50,803908 WGS84
<i>Ocotea indecora</i> (Schott) Mez	Canela	LUSC 6267	41,2	lat: -27,493097 long: -50,807286 WGS84
		LUSC 6268	34,1	lat: -27,493061 long: -50,807292 WGS84
		LUSC 6269	17,5	lat: -27,49305 long: -50,807239 WGS84
<i>Ocotea diospyrifolia</i> (Meisn.) Mez	Canela	LUSC 6270	50,6	lat: -27,497194 long: -50,810503 WGS84
		LUSC 6271	38,8	lat: -27,497069 long: -50,810492 WGS84
		*	32,2	*
<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	Canela-sebo	LUSC 6273	33,7	lat: -27,482531 long: -50,811214 WGS84
		*	32,1	*
		LUSC 6275	29	lat: -27,482614 long: -50,811158 WGS84

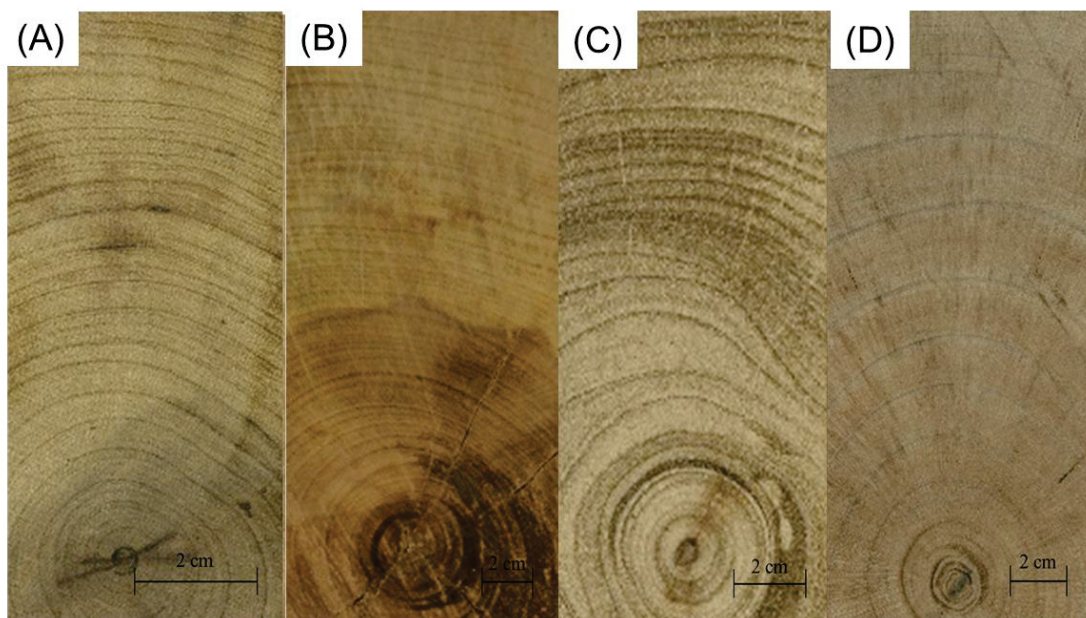
FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: *Sem informação.

De cada uma das árvores, foram coletados dois discos de madeira com aproximadamente 5 centímetros de espessura, à 1,30 metros do solo, na altura do diâmetro à altura do peito (DAP), além do material botânico. Esse material botânico e um disco foram utilizados para identificação, registro e armazenamento no LUSC; os 12 discos remanescentes, um de cada indivíduo foram utilizados neste estudo. Na

Figura 4. 1, são apresentadas amostras de parte das seções transversais dos discos utilizados para cada espécie.

FIGURA 4. 1 - AMOSTRA DE PARTE DA SEÇÃO TRANSVERSAL DOS DISCOS UTILIZADOS PARA AS ESPÉCIES DE LAURACEAE.



FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: (A) *Nectandra megapotamica*, (B) *Ocotea diospyrifolia*, (C) *Ocotea indecora* e (D) *Ocotea puberula*.

Para incluir a variação radial da madeira, foi feita a amostragem dos corpos de prova nas regiões próxima à casca, intermediária e próxima à medula. Os corpos de prova possuíam dimensões finais de aproximadamente 2 x 2 x 2 centímetros, de comprimento, largura e espessura. Conforme o recomendado por Vanclay, Henson e Palmer (2008) as amostras foram lixadas para obter informações confiáveis sobre a cor da madeira e para evitar que houvesse influência dos efeitos da oxidação e marcas da serra nas amostras. Além disso, todas as amostras foram armazenadas em ambiente controlado (Temperatura $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e Umidade $50 \pm 2\%$), buscando padronização, até a análise.

4.2.1 Análise dos parâmetros colorimétricos

Para a caracterização colorimétrica da madeira, foi utilizado o sistema CIEL*a*b*, por meio do espectrofotômetro Konica Minolta CM-5 e o programa SpectraMagic NX, com uma lâmpada de xenônio difusa, ângulo de observação de 10

graus e iluminante D65. Em cada corpo de prova foram realizadas duas leituras por plano de corte, obtendo-se os valores de L^* = luminosidade, a^* = coordenadas do eixo verde-vermelho e b^* = coordenada do eixo azul-amarelo. Além disso, foram calculados C^* = saturação e h = ângulo de tinta de acordo com as equações (1) e (2), respectivamente.

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

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

4.2.1.1 Teste de médias

Inicialmente, na comparação entre as médias das espécies para os diferentes parâmetros colorimétricos, realizou-se a verificação da normalidade pelo teste de Kolmogorov–Smirnov e de homogeneidade de variâncias com o teste de Bartlett, ambos com 95% de probabilidade. Após confirmação da normalidade e da homogeneidade de variâncias foi efetuado o teste de médias de Scott-Knott, também com 95% de probabilidade.

Quando considerados os diferentes planos anatômicos (transversal, radial e tangencial) e as diferentes posições do disco (próximo à casca, intermediário e próximo à medula), procedeu-se novamente as análises da normalidade pelo teste de Kolmogorov–Smirnov e de homogeneidade de variâncias com o teste de Bartlett, ambos com 95% de probabilidade. Nessa etapa, apenas os resultados de L^* (*Nectandra megapotamica*), a^* (*Ocotea diospyrifolia*) e h (*Nectandra megapotamica* e *Ocotea diospyrifolia*) precisaram ser transformados por Box-Cox para atender ao pressuposto de normalidade, os demais resultados foram normais sem a necessidade de transformação. Posteriormente, comparou-se os resultados obtidos para cada espécie e parâmetro colorimétrico nos diferentes planos anatômicos e nas diferentes posições do tronco utilizando o teste de média de Scott-Knott, com 95% de probabilidade.

Deve-se salientar ainda, que todas as análises realizadas para os testes de médias foram feitas utilizando o software R (2018).

4.2.1.2 Análise de componentes Principais para a colorimetria

A análise de componentes principais (PCA) foi realizada no software R, utilizando os pacotes FactoMineR (LÉ, JOSSE e HUSSON, 2008) e factoextra (KASSAMBARA & MUNDT, 2017). A PCA foi aplicada na madeira, para verificar o comportamento das espécies em relação aos espectros obtidos, com dados originais e segunda derivada de Savitzky-Golay, com suavização = 3.

4.2.1.3 Modelos de Classificação para os espectros colorimétricos

Para verificar o potencial de classificação das espécies de Lauraceae, foram utilizados os dados dos espectros originais e em segunda derivada. Objetivando identificar o modelo de classificação mais adequado para os dados analisados, foram testados os modelos de Redes Neurais Artificiais (ANN), *Support Vector Machines with Radial Basis Function Kernel* (SVM) e *k-Nearest Neighbors* (k-NN).

Os modelos foram testados utilizando a função “train” para os diferentes métodos disponíveis no pacote “caret” no software R (KUHN et al., 2020). Na comparação entre os resultados utilizaram-se os valores de acurácia resultantes de cada conjunto de dados analisados.

No processo de construção de todos os modelos os dados foram divididos, utilizando a amostragem aleatória estratificada em função das espécies em conjunto de aprendizado (70%) e teste (30%).

4.2.2 Análise da espectroscopia no infravermelho próximo

Após as análises colorimétricas, foram realizadas as leituras NIR utilizando um espectrômetro Tensor 37 (Bruker), adaptado com uma esfera de integração, operando em reflectância difusa (4.000 a 10.000 cm^{-1}) com resolução 4 cm^{-1} e 64 varreduras.

Inicialmente, foram realizadas as análises dos espectros NIR para a madeira, sendo realizadas duas leituras em cada plano anatômico (transversal, tangencial e radial). Posteriormente as análises das madeiras, procedeu-se a carbonização dos corpos de prova em forno mufla, com temperatura final de 450°C e taxa de aquecimento de $1,66\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, conforme o recomendado por Muñiz et al. (2012).

Somente após o resfriamento dos corpos de provas, foram realizadas as leituras dos espectros do carvão, também totalizando 6 leituras por amostra (duas em cada plano anatômico).

4.2.2.1 Análise de componentes Principais dos espectros NIR

A análise de componentes principais (PCA) seguiu o mesmo padrão realizado para a colorimetria. Contudo, foram utilizados os dados originais e segunda derivada de Savitzky-Golay, com suavização = 15, para a madeira e para o carvão.

4.2.2.2 Modelos de Classificação para os espectros NIR

Objetivando avaliar o potencial de classificação da madeira e do carvão das espécies de Lauraceae, foram utilizados os dados dos espectros originais e em segunda derivada e o modelo de classificação k-Nearest Neighbors (k-NN).

Para tal, novamente, utilizou-se a função “train” do pacote “caret” no software R (KUNH et al., 2020). No processo de construção de todos os modelos os dados foram divididos, utilizando a amostragem aleatória estratificada em função das espécies em conjunto de aprendizado (70%) e teste (30%).

Além disso, foram apresentados os resultados de acurácia dos modelos de predição e as matrizes de confusão resultantes de cada conjunto de teste.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Análise dos parâmetros colorimétricos

Inicialmente, para compreender o comportamento geral das amostras, foram comparadas as médias dos parâmetros colorimétricos (L^* , a^* , b^* , C^* e h) entre as quatro espécies de Lauraceae (TABELA 4. 2).

TABELA 4. 2 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.

Espécies	L^*	a^*	b^*	C^*	h
<i>Nectandra megapotamica</i>	61,14 b (7,88)	3,65 c (1,29)	20,88 b (3,39)	21,26 b (3,21)	79,62 a (4,95)
<i>Ocotea diospyrifolia</i>	58,01 c (5,19)	5,58 b (2,05)	22,28 a (1,89)	23,06 a (1,86)	75,94 b (5,21)
<i>Ocotea indecora</i>	69,60 a (2,01)	2,74 d (0,65)	11,38 d (1,05)	11,73 c (1,00)	76,33 b (3,61)
<i>Ocotea puberula</i>	58,54 c (6,41)	7,65 a (1,76)	19,34 c (2,03)	20,82 b (2,68)	68,65 c (3,07)

FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: *Médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 95% de probabilidade.

Utilizando os resultados médios presentes na Tabela 4. 2, para todas as espécies, as coordenadas a^* e b^* obtiveram resultados positivos, ou seja, de acordo com Lima et al. (2013), as amostras apresentaram cromaticidade vermelha e amarela. Além disso, é possível qualificar as espécies de acordo com a classificação de cor disponibilizada por Camargos e Gonzalez (2001). Seguindo os intervalos recomendados pelos autores, pode-se denominar a cor média das madeiras como próximas ao cinza-rosado (*Nectandra megapotamica*), rosa acinzentado (*Ocotea diospyrifolia* e *Ocotea puberula*) e oliva-amarelado (*Ocotea indecora*). Ainda, considerando os parâmetros disponíveis na literatura, todas as espécies podem ser classificadas como madeiras de alta luminosidade pois apresentaram valores de L^* maiores que 54 (NISHINO et al., 1998).

Comparando os resultados obtidos com trabalhos já publicados, Silva et al. (2017) ao analisarem a colorimetria de trinta espécies florestais, também caracterizaram a madeira de uma amostra de *Ocotea* sp. e encontraram valores médios de L^* = 56,72; a^* = 8,84; b^* = 22,45; C^* = 24,17 e h = 68,60 resultados próximos aos encontrados neste trabalho para as espécies do gênero *Ocotea*, assemelhando-se mais a *Ocotea puberula*.

Além disso, foi possível observar que houve diferença estatística significativa entre as espécies em todos os parâmetros colorimétricos analisados. A diferença estatística entre os parâmetros colorimétricos para espécies da mesma família, também foi observada por Nisgoski et al. (2017a) ao avaliarem o uso da espectroscopia no visível para discriminação de espécies de Myrtaceae dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia*.

Porém, para as madeiras de Lauraceae, apenas as coordenadas cromáticas (a^* e b^*) foram capazes de separar todas as espécies. De acordo com Pastore, Santos e Rubim (2004), a variação no conteúdo e na composição dos extrativos de cada espécie pode justificar a diferença do comportamento colorimétrico das amostras.

Analisando o comportamento das médias para L^* , a espécie *Ocotea indecora* apresentou resultado significativamente maior que as demais, enquanto, as espécies *Ocotea diospyrifolia* e *Ocotea puberula* tiveram as médias mais baixas, sendo classificadas como as mais escuras dentre o grupo avaliado. Cabe salientar, que os valores de L^* encontrados para as espécies de Lauraceae são altos se comparados as médias encontradas por Autran e Gonzalez (2006) para as madeiras de *Tabebuia serratifolia* (39,00) e *Brosimum rubescens* (42,39).

Para a^* , a espécie *Ocotea puberula* apresentou a tonalidade mais avermelhada, seguida pelas espécies *Ocotea diospyrifolia*, *Nectandra megapotamica* e pela *Ocotea indecora* que apresentou o menor resultado. Considerando os resultados obtidos para outras madeiras usualmente utilizadas, esses valores são relativamente baixos. Por exemplo, Teles e Costa (2014) obtiveram valores médios de 13,5 para a coordenada cromática a^* para a madeira de Angelim Pedra (*Hymenolobium petraeum*).

Na coordenada cromática b^* , novamente a menor média foi da madeira de *Ocotea indecora*. Deve-se salientar que, considerando somente a colorimetria, possivelmente essa espécie seria a mais valorizada no mercado, uma vez que, madeiras com baixos valores de a^* e b^* geralmente possuem maior valor agregado (ZANUNCIO, FARIAS e SILVEIRA, 2014). A madeira de *Ocotea puberula* apresentou a terceira menor média e a *Nectandra megapotamica* a segunda menor média. Destaca-se ainda que a espécie *Ocotea diospyrifolia* obteve o maior resultado, sendo classificada como a mais amarelada dentre as espécies analisadas. Essa informação pode ser confirmada por meio da observação visual das madeiras das espécies na Figura 4.1.

Na saturação (C^*), o comportamento foi semelhante ao observado para a coordenada cromática b^* . Novamente, a espécie *Ocotea indecora* apresentou os menores resultados e a *Ocotea diospyrifolia* os maiores, porém neste parâmetro as madeiras intermediárias (*Nectandra megapotamica* e *Ocotea puberula*) apresentaram resultados estatisticamente semelhantes entre si.

No ângulo de tinta (h), a *Nectandra megapotamica* apresentou o resultado mais alto, as médias intermediárias foram das espécies *Ocotea diospyrifolia* e *Ocotea indecora*, além disso, a madeira de *Ocotea puberula* apresentou a menor média. Segundo Sousa et al. (2019), valores mais baixos de ângulo de tinta auxiliam para a classificação de madeira esbranquiçada, essa característica também pode ser comprovada na Figura 4. 1.

Para os parâmetros L^* , a^* e b^* (TABELA 4. 3), C^* e h (TABELA 4. 4) também foram avaliados os comportamentos colorimétricos das espécies nas diferentes posições do tronco (casca, intermediário e medula) e nos diferentes planos anatômicos.

Na luminosidade (L^*), para o fator posição no tronco, as espécies apresentaram comportamento distinto, com tendência para as menores médias na medula (*Ocotea diospyrifolia* e *Ocotea indecora*), para a *Nectandra megapotamica* a posição próxima à casca apresentou média significativamente maior que as demais. Na madeira da *Ocotea puberula* não foram constatadas diferenças significativas entre as médias das diferentes posições do tronco. Para o fator plano anatômico, todas as espécies apresentaram a mesma tendência, com médias semelhantes e maiores para os planos radial e tangencial, e os menores resultados para o plano transversal. Nishino et al. (2000) também observaram esse comportamento ao estudar a relação entre os parâmetros colorimétricos e a densidade do alburno de 25 espécies, os autores concluem que provavelmente, as seções transversais das fibras são responsáveis pela diminuição da luminosidade no plano transversal.

TABELA 4. 3 - MÉDIAS DE L*, a* E b* PARA AS DIFERENTES POSIÇÕES NO TRONCO (CASCA, INTERMEDIÁRIO E MEDULA) E PARA OS DIFERENTES PLANOS (TRANSVERSAL, RADIAL E TANGENCIAL) NAS MADEIRAS DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.

	Posição	Casca		Intermediário		Medula		
L*	<i>Nectandra megapotamica</i>	64,88 (4,11)	a	60,17 (10,07)	b	58,38 (6,94)	b	
	<i>Ocotea diospyrifolia</i>	62,61 (2,63)	a	56,90 (4,69)	b	54,52 (4,23)	c	
	<i>Ocotea indecora</i>	69,56 (1,39)	b	70,84 (1,48)	a	68,41 (2,27)	c	
	<i>Ocotea puberula</i>	58,79 (7,34)	a	58,82 (6,29)	a	58,00 (5,64)	a	
	Plano	Transversal		Radial		Tangencial		
	<i>Nectandra megapotamica</i>	57,00 (7,26)	b	63,87 (8,36)	a	62,55 (6,31)	a	
	<i>Ocotea diospyrifolia</i>	55,95 (4,99)	b	58,61 (5,46)	a	59,48 (4,54)	a	
	<i>Ocotea indecora</i>	68,92 (1,93)	b	70,10 (2,00)	a	69,79 (1,95)	a	
	<i>Ocotea puberula</i>	55,55 (6,57)	b	60,94 (5,58)	a	59,12 (5,99)	a	
	a*	Posição	Casca		Intermediário		Medula	
		<i>Nectandra megapotamica</i>	3,05 (1,00)	b	3,75 (1,44)	a	4,15 (1,18)	a
		<i>Ocotea diospyrifolia</i>	3,54 (0,69)	c	5,90 (1,97)	b	7,30 (1,00)	a
<i>Ocotea indecora</i>		2,64 (0,35)	b	2,29 (0,52)	c	3,30 (0,60)	a	
<i>Ocotea puberula</i>		6,20 (1,45)	c	8,01 (1,65)	b	8,72 (1,07)	a	
Plano		Transversal		Radial		Tangencial		
<i>Nectandra megapotamica</i>		3,47 (1,12)	a	3,46 (1,43)	a	4,02 (1,26)	a	
<i>Ocotea diospyrifolia</i>		5,19 (2,01)	a	5,98 (2,13)	a	5,57 (1,98)	a	
<i>Ocotea indecora</i>		2,46 (0,59)	b	2,86 (0,63)	a	2,91 (0,65)	a	
<i>Ocotea puberula</i>		7,40 (1,91)	a	7,73 (1,90)	a	7,80 (1,45)	a	
b*		Posição	Casca		Intermediário		Medula	
		<i>Nectandra megapotamica</i>	22,45 (3,20)	a	20,52 (3,93)	b	19,66 (2,27)	b
	<i>Ocotea diospyrifolia</i>	22,17 (1,58)	a	22,84 (2,09)	a	21,83 (1,86)	a	
	<i>Ocotea indecora</i>	11,36 (1,02)	b	11,73 (0,95)	a	11,05 (1,10)	b	
	<i>Ocotea puberula</i>	17,67 (2,27)	b	19,82 (1,98)	a	20,52 (1,58)	a	
	Plano	Transversal		Radial		Tangencial		
	<i>Nectandra megapotamica</i>	18,66 (2,86)	b	22,18 (3,24)	a	21,79 (2,96)	a	
	<i>Ocotea diospyrifolia</i>	20,83 (1,63)	b	23,01 (1,59)	a	23,01 (1,57)	a	
	<i>Ocotea indecora</i>	10,64 (0,80)	b	11,89 (1,11)	a	11,62 (0,79)	a	
	<i>Ocotea puberula</i>	17,70 (2,19)	b	20,09 (1,90)	a	20,22 (1,89)	a	

FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: *Médias com letras iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 95% de probabilidade. Desvio padrão entre parênteses.

Na coordenada cromática a*, para a posição no tronco, em todas as espécies do gênero *Ocotea* observou-se a tendência dos maiores resultados na região próxima a medula. A *Nectandra megapotamica* apresentou menor resultado para a região próxima à casca, as outras regiões foram estatisticamente semelhantes. Quando considerado o plano anatômico, nas espécies *Nectandra megapotamica*, *Ocotea*

diospyrifolia e *Ocotea puberula* não foi constatada diferença significativa entre as médias. Na madeira de *Ocotea indecora* o plano transversal obteve a média mais baixa e os planos radial e tangencial foram estatisticamente iguais e superiores, resultado semelhante ao encontrado por Atayde, Gonzalez e Camargos (2011), para a madeira de muirapiranga (*Brosimum* sp.).

TABELA 4. 4 - MÉDIAS DE C* E h PARA AS POSIÇÕES NO TRONCO (CASCA, INTERMEDIÁRIO E MEDULA) E OS PLANOS ANATÔMICOS (TRANSVERSAL, RADIAL E TANGENCIAL) NAS MADEIRAS DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.

	Posição	Casca		Intermediário		Medula			
C*	<i>Nectandra megapotamica</i>	82,29 (3,24)	a	78,72 (3,60)	b	77,86 (2,16)	b		
	<i>Ocotea diospyrifolia</i>	80,93 (1,60)	a	75,49 (2,07)	b	71,39 (1,74)	c		
	<i>Ocotea indecora</i>	76,83 (0,98)	b	78,89 (0,94)	a	73,28 (1,07)	c		
	<i>Ocotea puberula</i>	70,81 (2,52)	a	68,15 (2,33)	b	67,00 (1,76)	b		
		Plano	Transversal		Radial		Tangencial		
	<i>Nectandra megapotamica</i>	78,91 (2,63)	a	80,66 (2,98)	a	79,30 (2,84)	a		
	<i>Ocotea diospyrifolia</i>	75,95 (1,52)	a	75,38 (1,42)	a	76,48 (1,68)	a		
	<i>Ocotea indecora</i>	76,91 (0,78)	a	76,24 (0,98)	a	75,85 (0,69)	a		
	<i>Ocotea puberula</i>	67,63 (2,65)	b	69,26 (2,42)	a	69,07 (2,25)	a		
	h		Posição	Casca		Intermediário		Medula	
		<i>Nectandra megapotamica</i>	22,67 (2,19)	a	20,96 (6,61)	b	20,14 (3,88)	b	
		<i>Ocotea diospyrifolia</i>	22,46 (1,70)	b	23,67 (4,88)	a	23,05 (3,01)	b	
<i>Ocotea indecora</i>		11,67 (2,15)	a	11,97 (2,65)	a	11,55 (3,42)	a		
<i>Ocotea puberula</i>		18,75 (2,90)	b	21,40 (2,97)	a	22,31 (1,94)	a		
		Plano	Transversal		Radial		Tangencial		
<i>Nectandra megapotamica</i>		19,05 (5,22)	b	22,52 (5,43)	a	22,21 (4,05)	a		
<i>Ocotea diospyrifolia</i>		21,56 (5,64)	b	23,88 (5,44)	a	23,74 (4,56)	a		
<i>Ocotea indecora</i>		10,94 (3,27)	b	12,25 (3,89)	a	12,00 (3,67)	a		
<i>Ocotea puberula</i>		19,22 (3,64)	b	21,56 (3,08)	a	21,69 (2,11)	a		

FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: *Médias com letras iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 95% de probabilidade. Desvio padrão entre parênteses.

Para a coordenada cromática b* quando avaliada a posição no tronco, cada espécie apresentou um comportamento distinto. A *Ocotea diospyrifolia* obteve resultados semelhantes para todas as médias. A região próxima à casca foi superior para a *Nectandra megapotamica* e inferior às posições intermediária e próxima à medula na *Ocotea puberula*. Na *Ocotea indecora* a região intermediária foi superior às demais posições do tronco. Para os diferentes planos anatômicos, novamente,

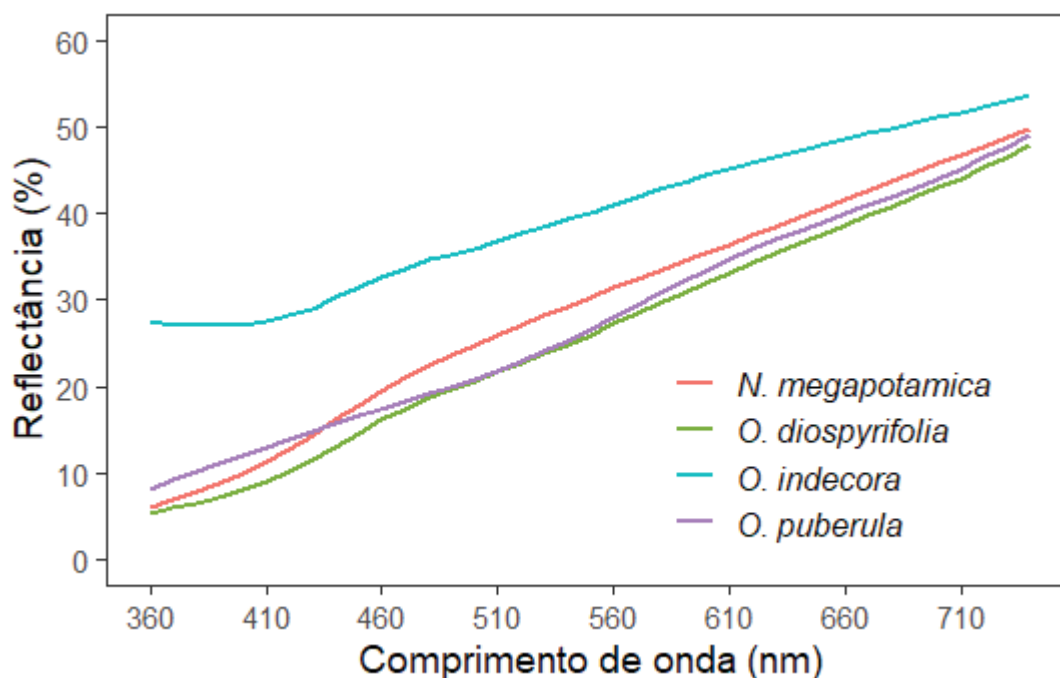
todas as espécies apresentaram as menores médias para o plano transversal e as médias dos planos longitudinais (radial e tangencial) foram semelhantes entre si. Garcia et al. (2014) ao avaliarem as madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua relação com a densidade também encontraram valores estatisticamente iguais para o valor de b^* na maioria das amostras avaliadas.

Na saturação (C^*), a posição intermediária do tronco foi a média mais alta para a espécie *Ocotea indecora*. Para as demais espécies o maior valor foi observado na média obtida na madeira localizada próxima a casca. Nos diferentes planos anatômicos, apenas a *Ocotea puberula* apresentou resultados mais baixos para o plano transversal. As madeiras de *Nectandra megapotamica*, *Ocotea diospyrifolia* e *Ocotea indecora* não apresentaram diferenças significativas entre as seções. A ausência de diferença estatística entre os resultados de saturação obtidos nos diferentes planos anatômicos também foi relatada por Barros, Muñiz e Matos (2014) para as madeiras de Tauari-vermelho e Breu-vermelho.

Para o ângulo de tinta (h), as espécies não obtiveram tendências semelhantes quando avaliadas as posições no tronco, a *Ocotea indecora* apresentou resultados semelhantes para todas as médias, a região próxima à casca obteve o maior valor para a madeira de *Nectandra megapotamica*. Essa tendência também foi observada em clones de Eucalipto estudados por Mori et al. (2005) e Martins et al. (2015). Em contrapartida, a região da casca obteve o menor resultado para a *Ocotea puberula*, na espécie *Ocotea diospyrifolia* a região intermediária obteve o maior resultado. Novamente, nos planos anatômicos, observou-se a mesma tendência para todas as espécies, com os menores resultados para o transversal e os maiores para os planos longitudinais (radial e tangencial). Ribeiro et al. (2018), também obtiveram resultados semelhantes para os valores de ângulo de tinta para os planos radial e tangencial das madeiras de espécies comerciais da Amazônia.

Na Figura 4. 2, são analisados os espectros médios das espécies de Lauraceae, evidenciando a diferença entre as porcentagens de reflectância entre os comprimentos de onda compreendidos entre 360 a 740 nm para a espécie *Ocotea indecora*, quando comparada às demais.

FIGURA 4. 2 - ESPECTROS MÉDIOS NA REGIÃO DO VISÍVEL DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.

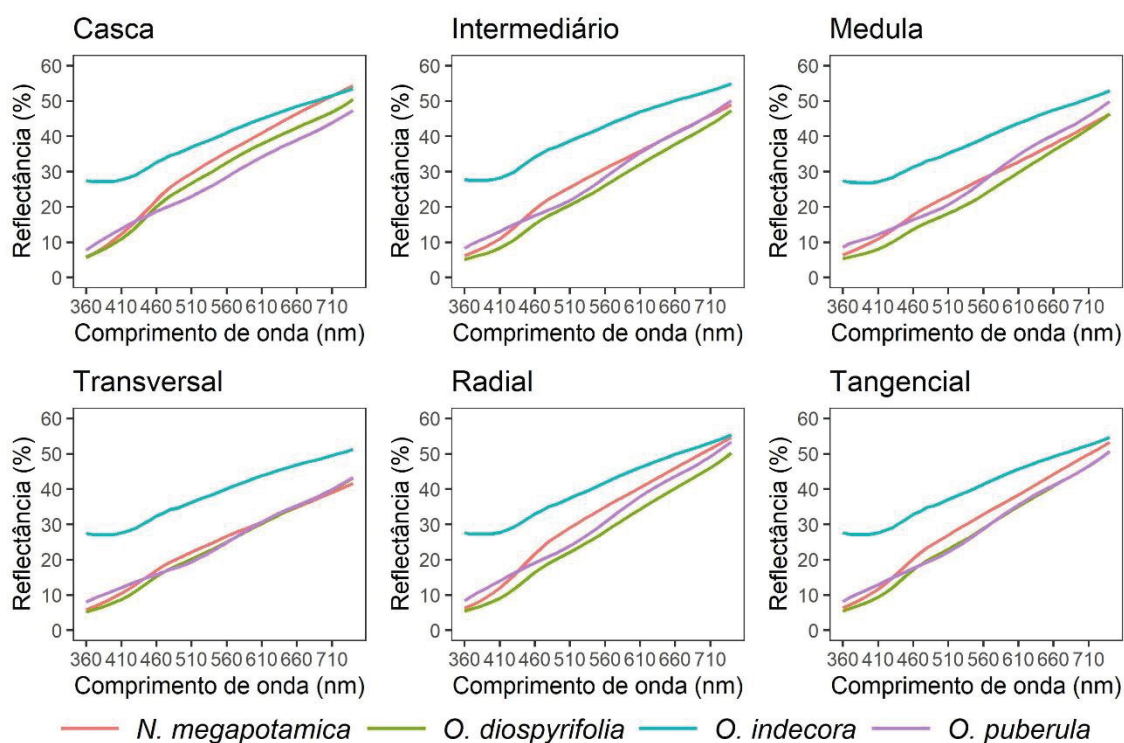


FONTE: A autora (2021).

Além da comparação entre as médias dos parâmetros colorimétricos das espécies de Lauraceae, buscou-se compreender também as curvas de reflectância geradas pelas diferentes espécies de Lauraceae. Inicialmente, esperava-se que as espécies que são do mesmo gênero apresentassem um comportamento semelhante de reflectância nos comprimentos de onda analisados. Porém, quando considerada a média da espécie (FIGURA 4. 2), foi possível observar o distanciamento completo da *Ocotea indecora* das demais espécies. Outro fator interessante é que as espécies *Nectandra megapotamica* e *Ocotea diospyrifolia* são as espécies com o comportamento espectral mais semelhante. Além disso, a espécie *Ocotea puberula* diferencia-se da *Nectandra megapotamica* e da *Ocotea diospyrifolia*, principalmente no intervalo de comprimento de onda compreendido entre 450-570 nm, onde as cores são predominantemente azul, ciano e verde.

Na Figura 4. 3, foram comparados os comportamentos espectrais médios das amostras, com o objetivo de avaliar a interferência das posições no tronco (casca, intermediário e medula) e dos planos anatômicos (transversal, radial e tangencial) na porcentagem de reflectância das amostras de madeira.

FIGURA 4. 3 - REPRESENTAÇÃO DOS ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL MÉDIOS NAS POSIÇÕES DO DISCO (CASCA, INTERMEDIÁRIA E MEDULA) E NOS PLANOS ANATÔMICOS (TRANSVERSAL, RADIAL E TANGENCIAL) PARA AS ESPÉCIES DE LAURACEAE.



FONTE: A autora (2021).

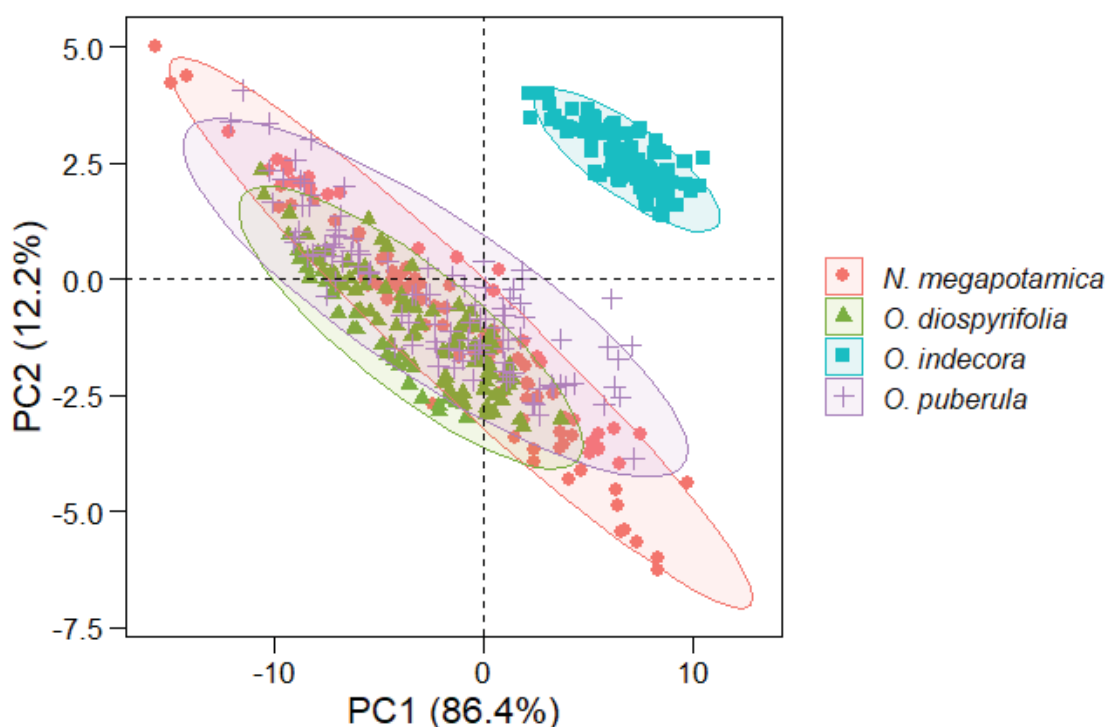
Novamente, para verificar se há influência das posições do tronco e dos planos anatômicos nos espectros das espécies, realizou-se a análise com as médias separadamente (FIGURA 4. 3). De maneira geral, as madeiras analisadas nas posições intermediárias e próxima à medula apresentaram comportamento semelhante às médias gerais das espécies, analisadas anteriormente. Contudo, a média das amostras da região próxima à casca teve um comportamento diferenciado. Destaca-se que nessa posição, a espécie *Ocotea indecora* apresentou uma leve aproximação das demais espécies, principalmente quando considerado o intervalo de comprimento de onda entre 680 e 740 nm, correspondente à faixa da cor vermelha. Assim, pode-se afirmar que nas amostras da casca, as espécies apresentam maior semelhança de reflectância na região do vermelho.

Quando considerados os planos anatômicos, algumas características interessantes são observadas. A distinção apresentada entre o plano transversal e os planos longitudinais (radial e tangencial) é clara. Além disso, de maneira geral, o plano em que ocorre a melhor distinção dos espectros é o radial, uma vez que no plano transversal há o agrupamento de três espécies (*Nectandra megapotamica*, *Ocotea*

diospyrifolia e *Ocotea puberula*) e no plano tangencial, após o comprimento de onda de 460 nm as espécies *Ocotea diospyrifolia* e *Ocotea puberula* apresentaram alta semelhança espectral.

Após a verificação visual dos espectros, identificou-se que há semelhança no comportamento geral das espécies. Assim, para identificar a possível separação das amostras, foi necessário realizar a análise dos componentes principais (PCA) com os espectros originais das espécies de Lauraceae (FIGURA 4. 4).

FIGURA 4. 4 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS COM OS ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL MÉDIOS PARA AS ESPÉCIES DE LAURACEAE.



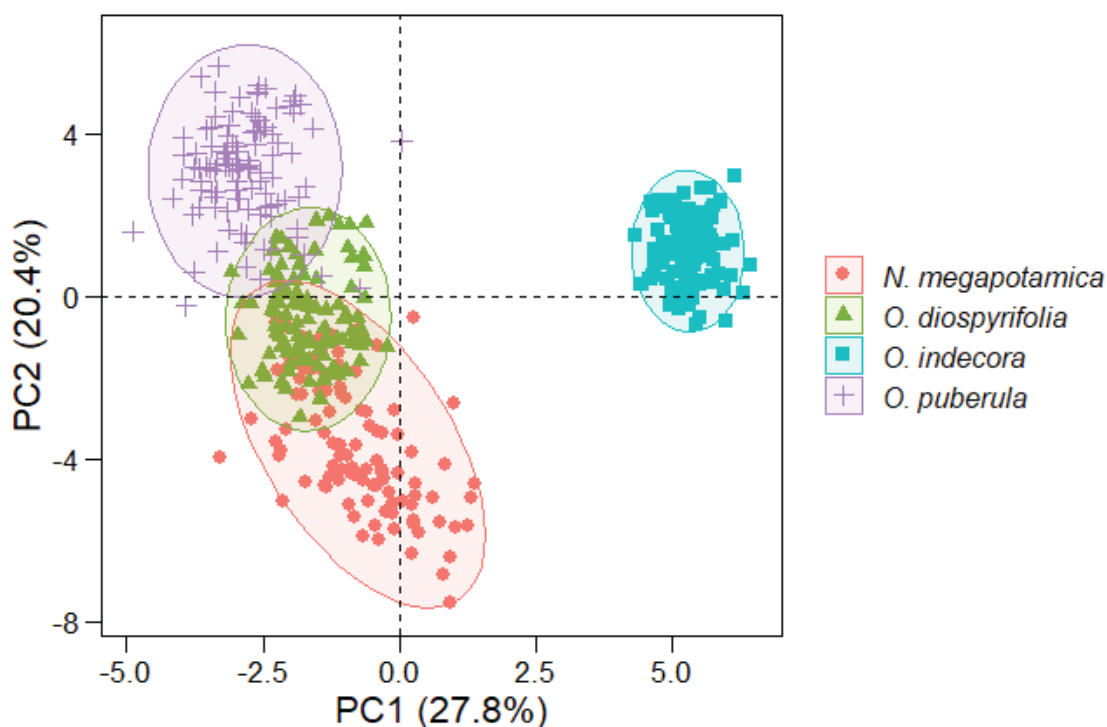
FONTE: A autora (2021).

De maneira geral, apenas a espécie *Ocotea indecora* apresentou separação significativa das demais amostras, essa diferença pode estar relacionada com o contraste apresentado entre os anéis de crescimento (FIGURA 4. 1). Destaca-se que esse comportamento também foi observado nas Figura 4. 2 e Figura 4. 3, com a maior aproximação dos espectros gerados pela reflectância das espécies *Nectandra megapotamica*, *Ocotea diospyrifolia* e *Ocotea puberula*. Provavelmente, esse comportamento se deve aos altos valores de reflectância obtidos em todos os comprimentos de onda, resultante da diferença de coloração entre essa espécie e as

demais, conforme a Figura 4. 1. Ainda, é possível visualizar a elevada confusão entre as amostras de *Nectandra megapotamica*, *Ocotea diospyrifolia* e *Ocotea puberula*, deve-se destacar ainda, que o agrupamento de amostras na PCA é resultante da semelhança da variação de suas características (HONGYU et al., 2016).

Buscando alternativas para melhorar a distinção das espécies de Lauraceae, os espectros foram transformados em segunda derivada. Novamente, realizou-se a PCA com os espectros já transformados (FIGURA 4. 5). Nessa análise, observou-se a permanência do isolamento da espécie *Ocotea indecora*, porém, as demais espécies (*Nectandra megapotamica*, *Ocotea diospyrifolia* e *Ocotea puberula*) apresentaram menor tendência de confusão. Salienta-se ainda, que os comprimentos de onda com maiores contribuições para a PC1, em ordem decrescente, foram de 480 nm, 460 nm, 430 nm, 510 nm e 400 nm. Por outro lado, para PC2, os comprimentos de onda de 500 nm, 530 nm, 380 nm, 550 nm e 600 nm foram os cinco com maior influência na distinção de espécies.

FIGURA 4. 5 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS COM OS ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL EM SEGUNDA DERIVADA.



FONTE: A autora (2021).

Conseqüentemente, é possível observar uma melhor separação entre as diferentes espécies de Lauraceae, ainda que ocorra uma ligeira mistura, entre as

madeiras de *Ocotea diospyrifolia* com a *Nectandra megapotamica* e a *Ocotea puberula*. A separação das espécies utilizando os dados transformados em segunda derivada é frequente e já foi relatado para a discriminação das madeiras de Eucaliptos (NISGOSKI et al., 2017a), para espécies de Myrtaceae da Floresta Ombrófila Mista (VIEIRA et al., 2019b), entre outros trabalhos.

Objetivando confirmar se a discriminação da madeira das espécies de Lauraceae ocorreria corretamente com a utilização dos espectros, foram testados os modelos discriminantes de Redes Neurais Artificiais (ANN), *Support Vector Machines with Radial Basis Function Kernel* (SVM) e *k-Nearest Neighbors* (k-NN) (TABELA 4.5).

TABELA 4. 5 - RESULTADOS DE ACURÁCIA PARA OS MODELOS DE DISCRIMINAÇÃO TESTADOS COM OS ESPECTROS DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.

Dados	Modelo	Acurácia (%)
Originais	ANN	99
Segunda derivada	ANN	100
Originais	k-NN	80
Segunda derivada	k-NN	99
Originais	SVM	99
Segunda derivada	SVM	100

FONTE: A autora (2021).

No geral, os resultados obtidos foram satisfatórios, com acurácia de 80% ou mais, para todos os modelos testados, independentemente se os espectros foram utilizados de forma original ou transformados em segunda derivada. Entretanto, observou-se que os modelos discriminantes de Redes Neurais Artificiais (ANN) e *Support Vector Machines with Radial Basis Function Kernel* (SVM) adequaram-se melhor aos conjuntos testados, para os dados originais e para os dados em segunda derivada.

Além disso, independentemente do modelo discriminante analisado, houve melhora na acurácia dos modelos quando foram utilizados os dados transformados em segunda derivada. Cabe salientar ainda que tanto para os dados originais quanto para os dados em segunda derivada, o modelo que apresentou a pior acurácia foi o k-NN (80% e 99%).

A alta acurácia também foi obtida para a distinção de espécies por Nisgoski et al. (2017b), com valor médio de 100 com margem $\pm 2\%$, ao diferenciarem amostras de madeira utilizando a Artificial Neural Network e os espectros obtidos na região do

Infravermelho Próximo. Wang et al. (2019) atingiram a acurácia de 97,5% na identificação de espécies de madeiras comerciais utilizando terahertz (THz) time-domain spectroscopy (TDS) e a análise discriminantes *Support Vector Machines with Radial Basis Function Kernel*.

É importante ressaltar que essa comparação é feita para identificar qual modelo discriminante obteve os melhores resultados para o conjunto de dados analisados, ou seja, para os espectros colorimétricos das espécies de Lauraceae (*Nectandra megapotamica*, *Ocotea diospyrifolia*, *Ocotea indecora* e *Ocotea puberula*) com condições e amostragem padronizadas.

4.3.2 Análise da espectroscopia no Infravermelho próximo

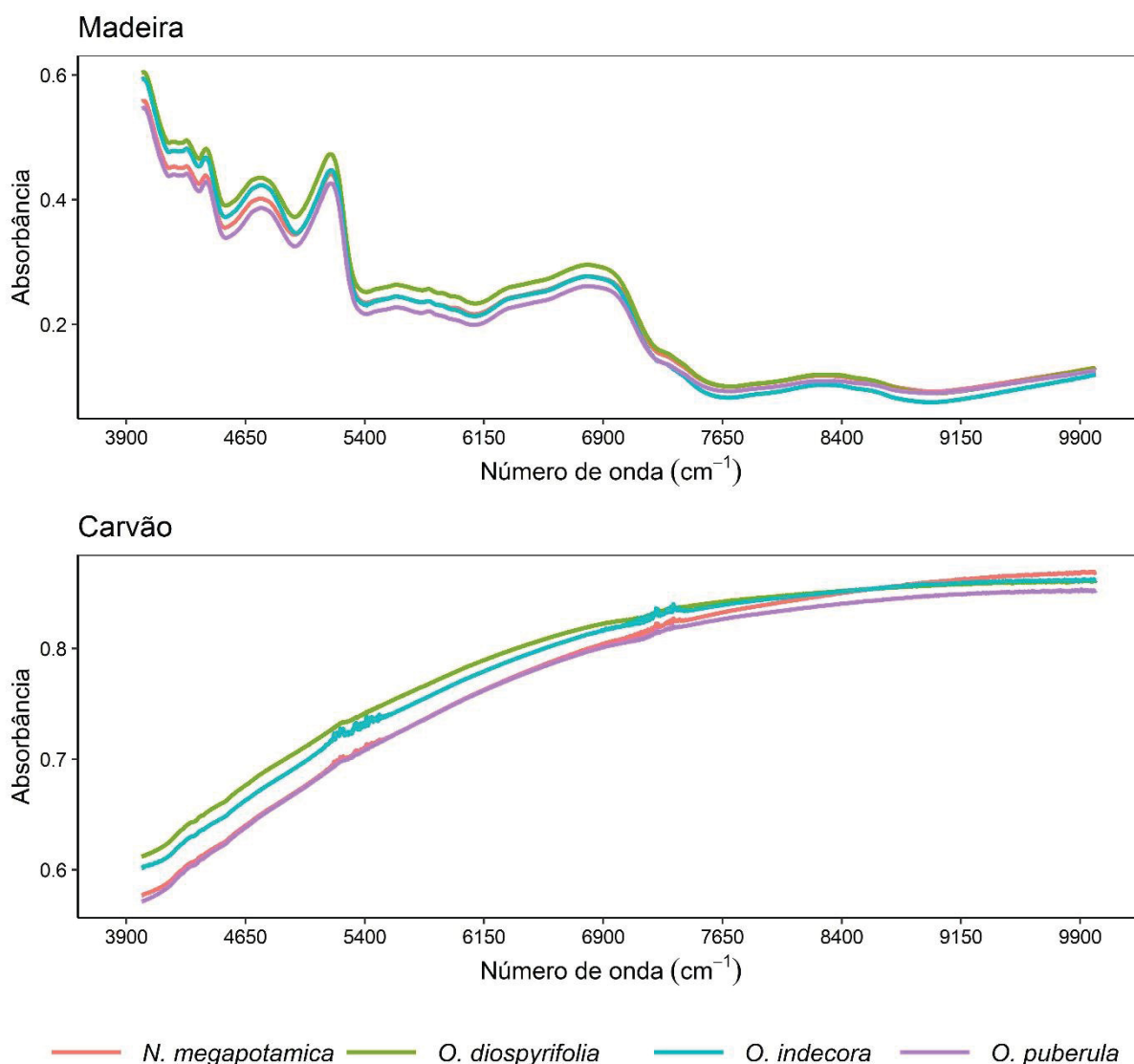
Na Figura 4. 6, é possível visualizar, os espectros NIR médios das espécies de Lauraceae, para os dois tipos de material analisados (carvão e madeira). No geral, para os dois materiais foram observadas altas semelhanças entre os espectros médios das espécies de Lauraceae.

Na madeira, especificamente na faixa do espectro entre 3900-4850 cm^{-1} , percebe-se a formação de dois grupos compostos pelas espécies *Nectandra megapotamica* - *Ocotea puberula* e *Ocotea diospyrifolia* – *Ocotea indecora*. Ainda para a madeira, nos números de onda compreendidos 4850 – 6850 cm^{-1} evidenciam-se as semelhanças espectrais entre as espécies *Nectandra megapotamica* e *Ocotea indecora*. Para os demais números de onda, a espécie *Ocotea puberula* apresentou comportamento sutilmente diferente das demais.

Considerando a semelhança espectral do lenho das espécies florestais, Soares et al. (2017) avaliaram a utilização no NIR portátil para a discriminação de seis espécies da Amazônia e também encontraram alta similaridade entre os espectros médios das espécies analisadas. Os autores ainda justificam que esse comportamento impede a identificação das espécies somente com a observação visual dos espectros, reforçando a necessidade da utilização dos modelos quimiométricos.

Nos espectros obtidos para o carvão, também foram observadas semelhanças entre as espécies. Destaca-se ainda que entre 5200 e 5600 cm^{-1} e 7000 e 7400 cm^{-1} as espécies *Nectandra megapotamica* e *Ocotea indecora* apresentaram alterações nas absorbâncias diferindo do comportamento das espécies *Ocotea diospyrifolia* e *Ocotea puberula*.

FIGURA 4. 6 - ESPECTRO MÉDIO OBTIDO NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO DA MADEIRA E DO CARVÃO DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.



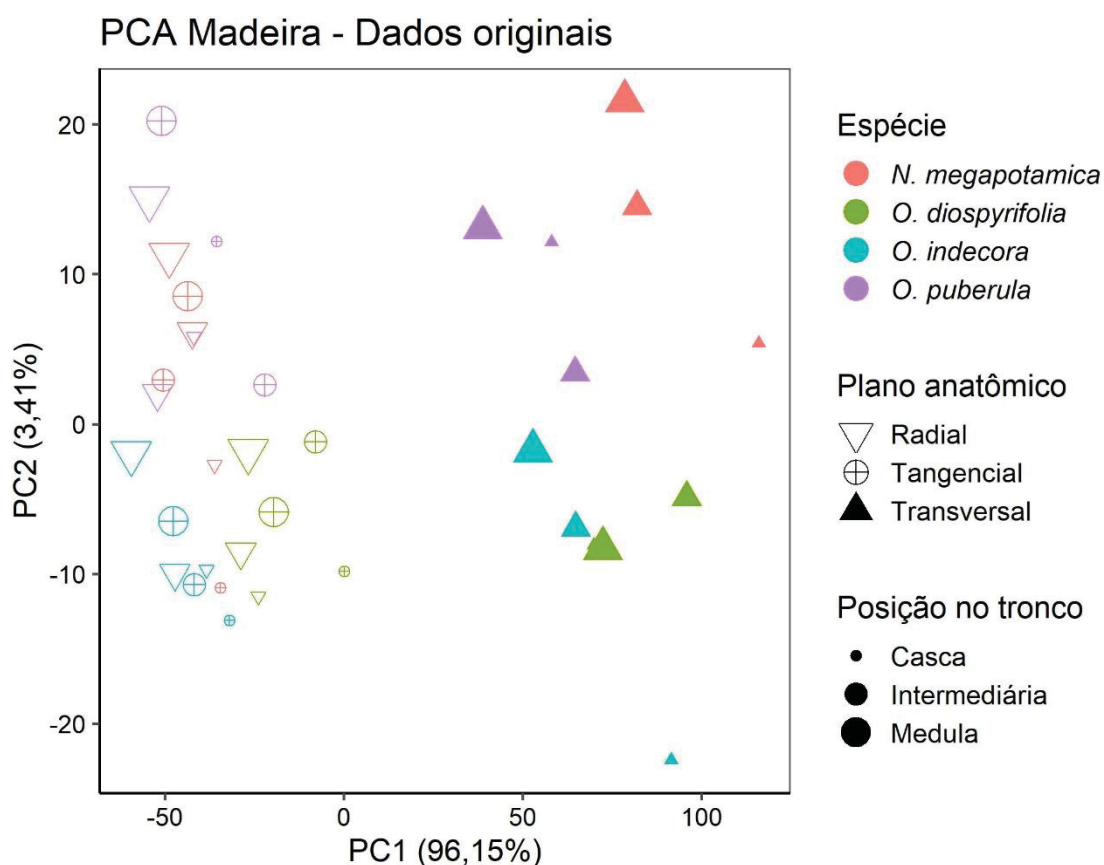
FONTE: A autora (2021).

A alteração observada entre a absorbância das amostras de madeira e de carvão já era esperada. Durante o processo de carbonização da madeira, ocorrem mudanças no material, devido à degradação térmica das substâncias químicas (MUÑIZ et al., 2013). Esse comportamento também foi observado por Davrieux et al. (2010) para amostras de madeira de *Tabebuia serratifolia* e *Eucalyptus grandis* utilizando o MIR (*Medium infrared spectra*).

Na Figura 4. 7, está a análise de componentes principal resultante da utilização dos espectros originais da madeira. Pode-se perceber que nessa PCA, não houve um distanciamento padrão entre as espécies.

Ainda, destaca-se que houve separação das médias das leituras realizadas no plano transversal e nos planos longitudinais (radial e tangencial). Muñiz et al. (2016), também observaram essa tendência de separação das seções anatômicas ao analisarem a PCA resultante da utilização dos espectros NIR originais de cinco madeiras conhecidas popularmente como “Angelim”.

FIGURA 4. 7 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS NIR ORIGINAIS DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.

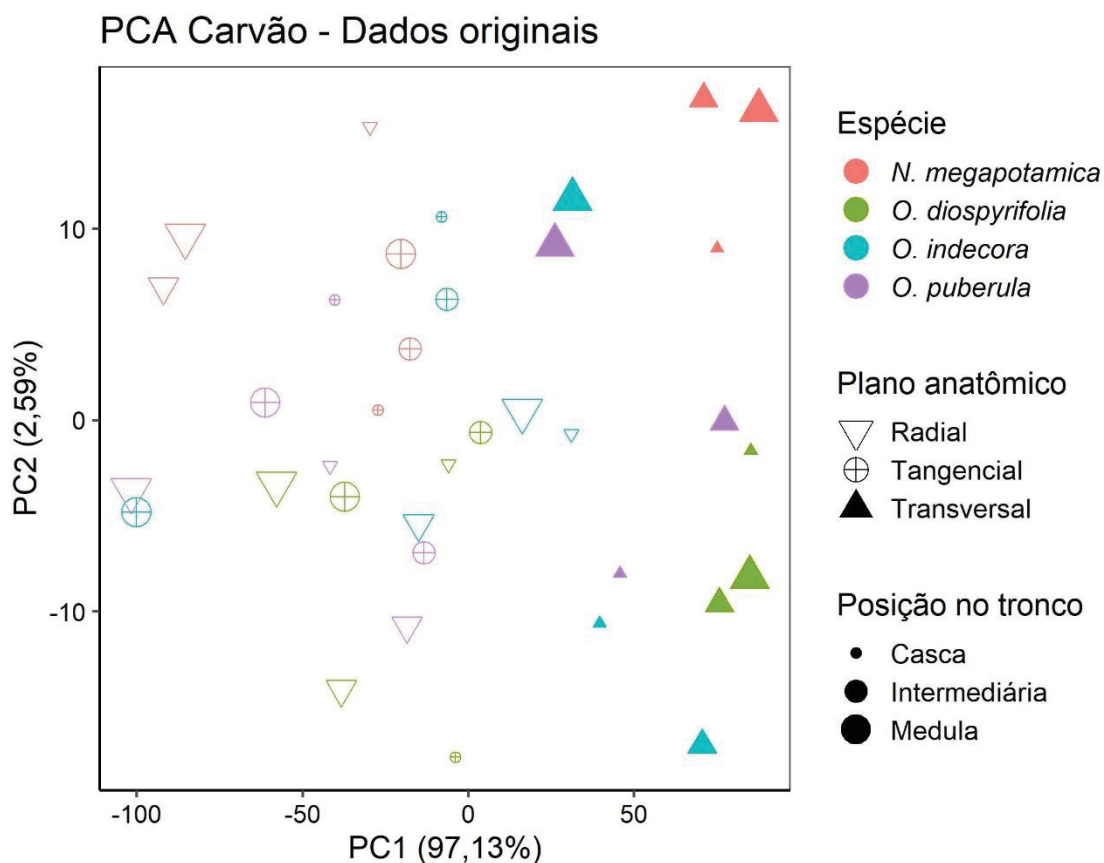


FONTE: A autora (2021).

Deve-se salientar que considerando os resultados obtidos na PCA da madeira com os dados originais, não foram observadas tendências de separação das amostras quanto à posição do tronco.

Na Figura 4. 8, está a análise de componentes principais resultante da utilização dos espectros originais do carvão. Nessa análise, não foi possível observar o agrupamento das amostras pertencentes a mesma espécie. Porém, a espécie *N. megapotamica* apresentou uma tendência sutil de aproximação das suas amostras.

FIGURA 4. 8 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS NIR ORIGINAIS DO CARVÃO DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE ANALISADAS.

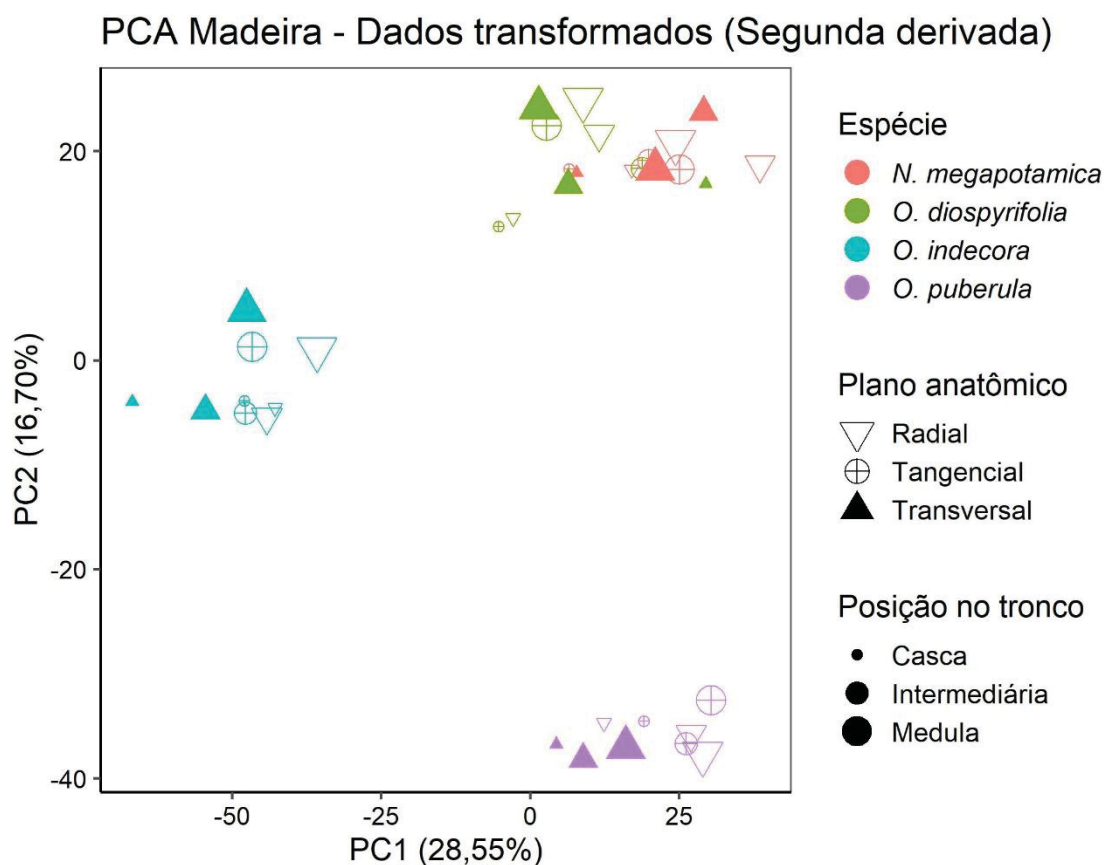


FONTE: A autora (2021).

A tendência de separação entre as amostras do plano transversal e dos planos longitudinais (radial e tangencial) se manteve, igualmente ao que foi observado na madeira. Novamente, não foram observadas influências das posições do tronco sobre a tendência de agrupamento das amostras.

Na Figura 4. 9, está a análise de componentes principais resultante da utilização dos espectros transformados em segunda derivada para a madeira. Nessa situação, há a separação das espécies *O. indecora* e *O. puberula*, porém, algumas amostras das espécies de *N. megapotamica* e *O. diospyrifolia* ainda ficaram sobrepostas.

FIGURA 4. 9 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS NIR TRANSFORMADOS EM SEGUNDA DERIVADA DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.

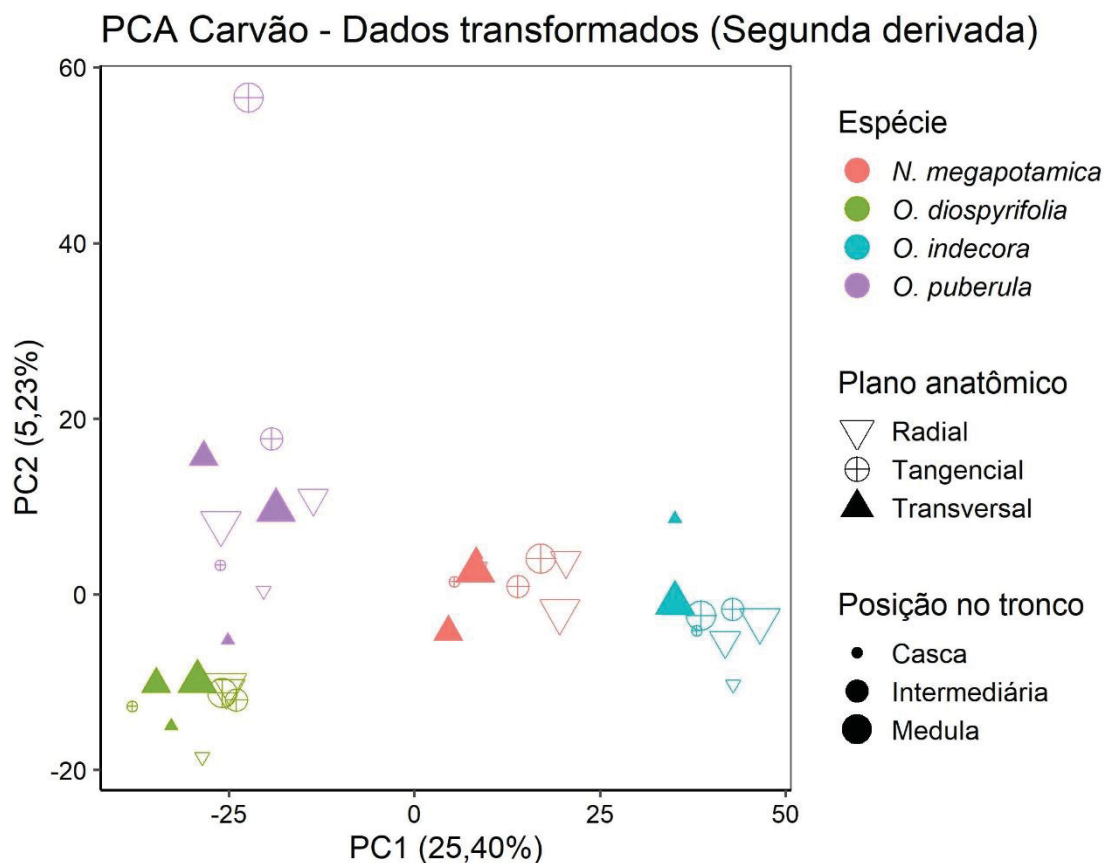


FONTE: A autora (2021).

A utilização de pré-tratamentos para os espectros NIR é recorrente na literatura, uma vez que as amostras sólidas podem apresentar efeitos de espalhamento, deslocamento e inclinação. Dentre os pré-tratamentos, a segunda derivada apresenta como característica a capacidade de remover a linha de base e a tendência linear, isso pode ter contribuído para a melhor separação das espécies (TOSCANO et al., 2017; RINNAN, BERG e ENGELSEN, 2009).

Na Figura 4. 10, está a análise de componentes principais resultante da utilização dos espectros do carvão transformados em segunda derivada. Pode-se perceber um agrupamento substancial das espécies de Lauraceae analisada, principalmente se comparado com o resultado obtido para os dados originais.

FIGURA 4. 10 – GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS TRANSFORMADOS EM SEGUNDA DERIVADA DO CARVÃO DAS ESPÉCIES DE LAURACEAE.



FONTE: A autora (2021).

Analisando o comportamento geral das espécies, pode-se afirmar que houve a tendência da separação das amostras. A espécie *O. diospyrifolia* apresentou um comportamento diferenciado das demais, com uma ampla dispersão das amostras, principalmente, levando em consideração o distanciamento da média obtida no plano tangencial na região da medula.

Outro fator que deve ser salientado é que nas PCA que utilizaram os dados transformados em segunda derivada, não houve tendência de agrupamentos das espécies independentemente se considerados os planos anatômicos ou as diferentes posições do tronco. Nessas análises, ficou evidente que o fator que mais influenciou para a aproximação das amostras foi a espécie analisada.

Na Tabela 4. 6, é possível visualizar os resultados obtidos para todos os conjuntos de dados de modelos discriminantes testados. No geral, os dados originais apresentaram resultados inferiores para os dois materiais.

TABELA 4. 6 - RESULTADOS DE ACURÁCIA DO MODELO DISCRIMINANTE k-NN.

Dados	Material	Acurácia (%)
Originais	Madeira	53,13
	Carvão	32,81
Segunda derivada	Madeira	98,44
	Carvão	53,13

FONTE: A autora (2021).

Além disso, fica evidente que a madeira apresentou resultados superiores aos encontrados para o carvão, quando comparado o mesmo pré-tratamento dos espectros. Isso pode ser explicado novamente pelo processo de carbonização, onde ocorre a degradação de alguns dos elementos químicos.

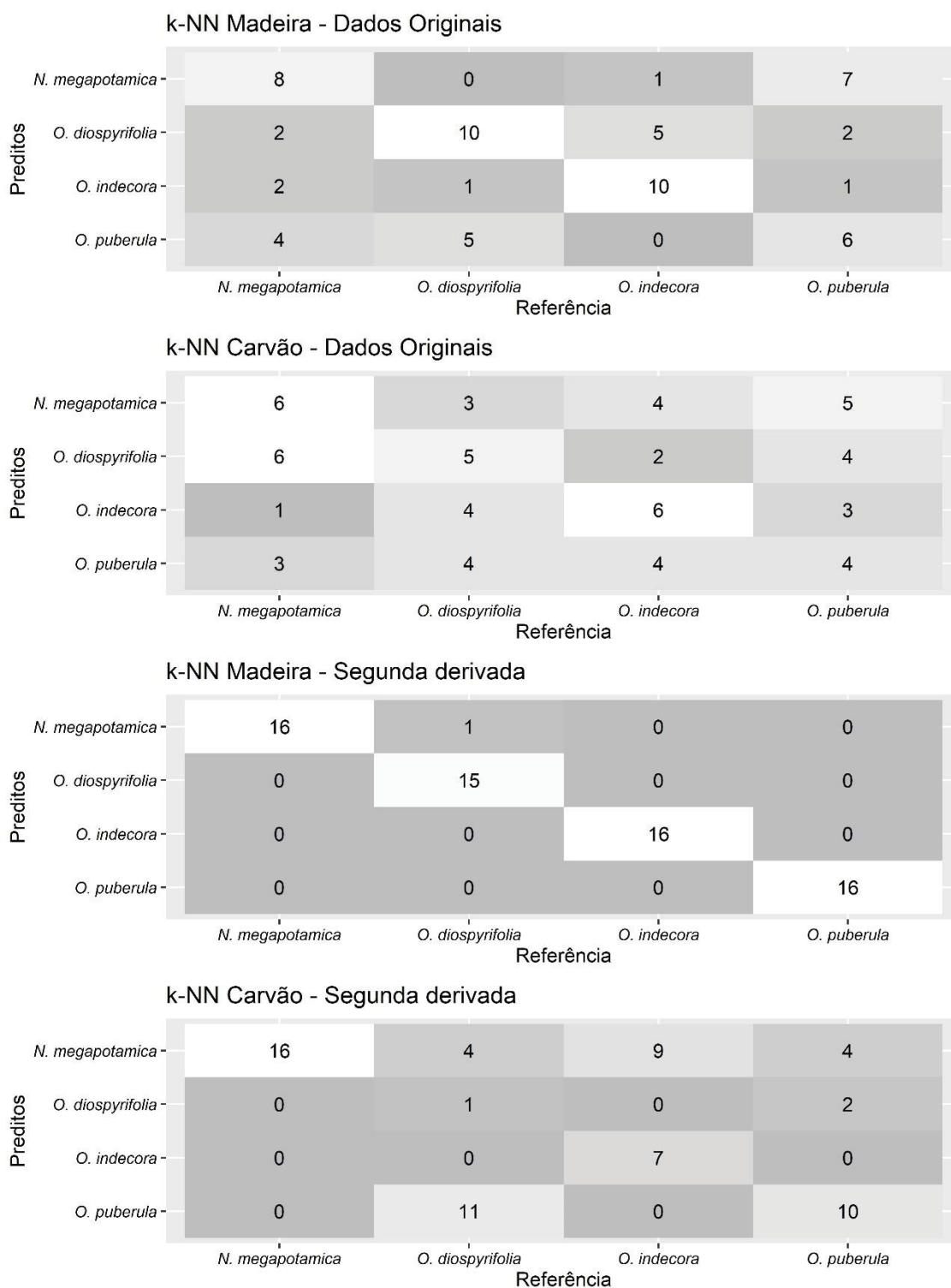
Deve-se salientar que outros trabalhos também atingiram bons resultados ao correlacionar a espectroscopia no infravermelho próximo da madeira e a predição dos modelos discriminantes. Pace et al. (2019) conseguiram atingir percentuais maiores que 90% de acurácia ao identificar madeiras da Mata Atlântica com os espectros NIR e o PLS-DA (*Partial Least Squares Discriminant Analysis*).

Muñiz et al. (2016), conseguiram bons resultados para diferenciar cinco madeiras e carvões de espécies conhecidas popularmente como “Angelim”, utilizando a técnica NIR e o PLS-DA. Também utilizando PLS-DA em associação com a técnica NIR, Ramalho, Andrade e Hein (2018) atingiram taxas de 86-100% de identificação correta ao diferenciar espécies nativas e plantadas.

Na Figura 4. 11 são apresentadas as matrizes de confusão resultantes das predições testadas com as espécies de Lauraceae. No geral, observou-se a mesma tendência para a madeira e para o carvão, com os maiores acertos para os dados transformados em segunda derivada.

Além disso, para os dados originais da madeira, a espécie *O. puberula* foi a espécie que apresentou a menor taxa de acerto na discriminação das espécies. Outro fato que deve ser destacado é que não houve confusão das amostras apenas nas seguintes situações: as amostras de *O. diospyrifolia* não foram identificadas como *N. megapotamica* e as amostras de *O. indecora* não foram confundidas com a *O. puberula*.

FIGURA 4. 11 - RESULTADO DA PREDIÇÃO UTILIZANDO O MODELO k-NN CONSTRUÍDO COM OS DADOS DA MADEIRA E DO CARVÃO ORIGINAIS E TRANSFORMADOS EM SEGUNDA DERIVADA PARA AS ESPÉCIES DE LAURACEAE.



FONTE: A autora (2021).

Para a matriz de confusão resultante da análise dos dados originais do carvão, os resultados foram inferiores aos da madeira. Deve-se salientar ainda, que houve confusão entre todas as espécies.

Em contrapartida, na utilização dos dados da madeira transformados em segunda derivada, só foi observada a identificação errônea para uma amostra de *O. diospyrifolia* que foi identificada como *N. megapotamica*. Hwang et al. (2016) também obtiveram alta taxa de identificações corretas ao diferenciar espécies de madeiras do mesmo gênero (*Pinus*) ao combinar os espectros NIR transformados em segunda derivada e as análises multivariadas.

A matriz de confusão resultante da utilização dos dados do carvão transformados em segunda derivada apresentou melhores taxas de acerto do que quando comparada aos dados originais. Porém, pode-se perceber que as amostras das espécies *O. diospyrifolia* e *O. indecora* apresentaram maior taxa de erro do que de acerto.

4.4 CONCLUSÕES

Para a colorimetria:

As coordenadas cromáticas a^* e b^* apresentaram maior potencial de diferenciação para as espécies de Lauraceae analisadas. Quando avaliada a influência das posições no tronco e dos planos anatômicos foram observadas as seguintes tendências: menores resultados de L^* e C^* para a madeira localizada na região próxima à medula e menores médias para o plano transversal nos parâmetros L^* , b^* e h .

Nos espectros médios, a espécie *Ocotea indecora* apresentou um comportamento diferenciado das demais. Considerando as posições no tronco, a região próxima à casca foi sutilmente diferente para todas as espécies analisadas. Nos planos anatômicos, também para todas as espécies evidenciou-se a semelhança entre os planos tangencial e radial.

Na análise de componentes principais (PCA) resultante da utilização dos dados originais houve tendência de separação apenas da espécie *Ocotea indecora*. Para a PCA com os espectros em segunda derivada observou-se maior distinção entre as espécies. Em todos os modelos de discriminação os dados em segunda derivada apresentaram melhores resultados.

Assim, pode-se afirmar que a utilização dos parâmetros colorimétricos em conjunto com análises quimiométricas apresentaram potencial de distinção da madeira das espécies de Lauraceae (*Nectandra megapotamica*, *Ocotea diospyrifolia*, *Ocotea indecora* e *Ocotea puberula*) da Floresta Ombrófila Mista.

Para a espectroscopia no infravermelho próximo:

Os espectros médios das espécies foram semelhantes, para a madeira e para o carvão. Utilizando as Análises de Componentes Principais foi possível perceber que os dados transformados em segunda derivada apresentaram maior distinção entre as espécies. Além disso, para a PCA dos dados originais, houve diferenciação entre as médias obtidas no plano transversal e nos planos longitudinais (radial e tangencial).

Utilizando o k-NN pode-se perceber que as amostras de madeira apresentaram maiores valores de acurácia, do que quando comparadas ao carvão. Outro fator relevante, é que os resultados obtidos com os dados transformados em segunda derivada foram maiores para os dois materiais.

De maneira geral, pode-se concluir que a técnica NIR associada com análise multivariada apresenta potencial para a diferenciação de espécies, principalmente para a madeira.

REFERÊNCIAS

- ATAYDE, C.M.; GONÇALEZ, J.C.; CAMARGOS, J.A.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, p. 445-451, 2006.
- BARROS, S. V. S.; MUNIZ, G. I. B.; MATOS, J. L. M. Caracterização colorimétrica das madeiras de três espécies florestais da Amazônia. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 337-342, 2014.
- 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.
- 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.
- GARCIA, R. A.; OLIVEIRA, N. S.; NASCIMENTO, A. M.; SOUZA, N. D. Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade. **CERNE**, v. 20, n. 4, p. 509-517, 2014.
- GASPER, A. L.; SEVEGNANI, L.; VIBRANS, A. C.; MARCOS SOBRAL, M.; UHLMANN, A.; LINGNER, D. V.; RIGON JÚNIOR, M. J.; VERDI, M.; SANTOS, A. S.; DREVECK S.; KORTE, A. Inventário florístico florestal de Santa Catarina: espécies da Floresta Ombrófila Mista. **Rodriguésia**, v. 64, n. 2, p. 201-210, 2013.
- HEIN, P. R.G.; PAKKANEN, H.; SANTOS, A. A. Dos. Challenges in the use of Near Infrared Spectroscopy for improving wood quality: A review. **Forest Systems**, v. 26, n. 3, eR03, 2017.
- HERDT, S. T.; MELO JÚNIOR, J. C. F. Anatomia sistemática e ecológica da madeira de *Nectandra* Rol. ex Rottb.(Lauraceae). **Balduinia**, n. 54, p. 11-21, 2016.
- HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; DE OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and Science**, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016.
- 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, 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, p. 156–167, 2016.

KASSAMBARA A; MUNDT F. Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. **R package version 1.0.5**. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>. 2017.

KUHN, M.; WING, J.; WESTON, S.; WILLIAMS, A.; KEEFER, C.; ENGELHARDT, A.; BENESTY, M. Package ‘caret’. **The R Journal**, 2020. 223 p.

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.

LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 25, n. 1, p. 1-18, 2008.

LIMA, C. M.; GONÇALEZ, J. C.; COSTA, T. R. V. D.; PEREIRA, R. S.; LIMA, J. B. M.; LIMA, M. D. S. A. Comportamento da cor de lâminas de madeira de Pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*) tratada com produtos de acabamento. **Revista Árvore**, v. 37, n. 2, p. 377-384, 2013.

MARTINS, M. F.; BELTRAME, R.; DELUCIS, R. A.; GATTO, D. A.; DE CADEMARTORI, P. H. G.; DOS SANTOS, G. A. Colorimetria como ferramenta de agrupamento de madeira de clones de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 443-449, 2015.

MORI, C. L. S. O.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; TRUGILHO, P. F.; GONCALEZ, J. C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 137-146, 2005.

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 forest species charcoal. **Wood Science and Technology**, v. 47, n. 4, p. 815-823, 2013.

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, 2012.

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.; GONÇALVES, T. A. P.; DE OLIVEIRA, N. M.; BITTENCOURT, S. C.; LIMA, G. S.; DE MUÑIZ, G. I. B. Influence of toposequence position of *Stryphnodendron adstringens* trees on discrimination of samples based on spectroscopy. **Revista Ciência da Madeira**, v. 9, n. 2, p. 112-122, 2018.

NISGOSKI, S.; DE MUNIZ, 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, 2017a.

NISGOSKI, S.; DE OLIVEIRA, A. A.; DE MUÑIZ, G. I. B. Artificial neural network and SIMCA classification in some wood discrimination based on near-infrared spectra. **Wood Science and Technology**, v. 51, n. 4, p. 929-942, 2017b.

NISGOSKI, S.; SCHARDOSIN, F. Z.; BATISTA, F. R. R.; DE 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.

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.

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.

OLIVEIRA, W.C.; CALLADO, C.H.; MARQUETE, O. Anatomia do lenho de espécies do gênero *Nectandra* Rol. ex Rottb. (Lauraceae). **Rodriguesia**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 81, p. 125- 134, 2001.

PACE, J. H. C.; DE FIGUEIREDO LATORRACA, J. V.; HEIN, P. R. G.; DE CARVALHO, A. M.; CASTRO, J. P.; DA SILVA, C. E. S. Wood species identification from Atlantic forest by near infrared spectroscopy. **Forest systems**, v. 28, n. 3, e015, 2019.

PASTORE, T. C. M.; BRAGA, J. W. B.; CORADIN, V. T. R.; MAGALHÃES, W. L. E.; OKINO, E. Y. A.; CAMARGOS, J. A. A.; DE 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, p. 73-80, 2011.

PASTORE, T. C.M.; SANTOS, K. O.; RUBIM, J. C. A spectrophotometric study on the effect of ultraviolet irradiation of four tropical hardwoods. **Bioresource technology**, v. 93, n. 1, p. 37-42, 2004.

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

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, e008, 2018.

RIBEIRO, E. S.; GONÇALEZ, J. C.; LIMA, C. M.; RODRIGUES, E. C. C.; PAULA, M. H.; MESQUITA, R. R. S.; QUEIROZ, F. L. C.; LESSES, O. M. G. Colorimetry and anatomical characterization of commercial wood species from the Brazilian Amazon. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 12, n. 2, 15-23, 2018.

RINNAN, A.; BERG, F. V. D.; ENGELSEN, S. B. Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 28, n. 10, p. 1201-1222, 2009.

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

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. **Revista 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. **Revista Ciência da Madeira**, v. 8, n. 1, p. 36-41, 2017.

SOARES, L. F.; DA 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.

SOUSA, W. C. S.; BARBOSA, L. D. J.; SOARES, A. A. V.; GOULART, S. L.; PROTÁSIO, T. D. P. Wood colorimetry for the characterization of Amazonian tree species: a subsidy for a more efficient classification. **Cerne**, v. 25, n. 4, p. 451-462, 2019.

TELES, R. F.; COSTA, A. F. Influência do intemperismo acelerado nas propriedades colorimétricas da madeira de Angelim pedra. **Nativa**, v. 2, n. 2, p. 65-70, 2014.

TOSCANO, G.; RINNAN, Å.; PIZZI, A.; MANCINI, M. The use of near-infrared (NIR) spectroscopy and principal component analysis (PCA) to discriminate bark and wood of the most common species of the pellet sector. **Energy & Fuels**, v. 31, n. 3, p. 2814-2821, 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.

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.; SANTOS, J. X. D.; LOPES DA SILVA, E.; D'ANGELO RIOS, P.; DE MUÑIZ, G. I. B.; RIBEIRO MORRONE, S.; 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**, v. 16, n. 3, p. 188-195, 2021.

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

WANG, Y.; SHE, S.; ZHOU, N.; ZHANG, J.; YAN, H.; LI, W. Wood Species Identification Using Terahertz Time-domain Spectroscopy. **BioResources**, v. 14, n. 1, p. 1033-1048, 2019.

ZANUNCIO, A. J. V.; FARIAS, E. de S.; SILVEIRA, T. A. da. Termorreificação e colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 1, p. 85-90, 2014.

CAPÍTULO 5
AVALIAÇÃO DA COLORIMETRIA E DA ESPECTROSCOPIA NO
INFRAVERMELHO PRÓXIMO DE FAMÍLIAS BOTÂNICAS NATIVAS DA
FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

RESUMO

Considerando a diversidade das Famílias botânicas nativas da Floresta Ombrófila Mista, esse capítulo teve como objetivo, comparar o comportamento das características colorimétricas da madeira e dos espectros do infravermelho próximo da madeira e do carvão de espécies de Fabaceae, Lauraceae e Myrtaceae. Para tal, foram coletados discos das espécies *Campomanesia xanthocarpa* Berg, *Eugenia pyriformis* Cambess., *Inga vera* Willd., *Muelleria campestris* Mart. ex Benth., *Machaerium paraguariense* Hassl., *Myrcia retorta* Cambess., *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez, *Ocotea indecora* (Schott) Mez, *Ocotea diospyrifolia* (Meisn.) Mez, *Ocotea puberula* (Rich.) Nees e *Plinia peruviana* (Poir.) Govaerts. Após a coleta, os discos foram seccionados, obtendo-se assim, os corpos de prova para as análises colorimétricas e do espectro no infravermelho próximo. Avaliou-se visualmente o comportamento espectral das amostras de madeira na região do visível e da madeira e do carvão para a região do infravermelho próximo. Nas análises estatísticas foram realizadas as comparações das médias dos parâmetros colorimétricos da madeira das espécies e das famílias utilizando o teste de Duncan. Além disso, utilizou-se também a análise discriminante k-NN para verificar acurácia na discriminação dos materiais analisados entre as espécies e as famílias. Como resultados, nos espectros colorimétricos apenas a Família Fabaceae diferenciou-se das demais, para as espécies houve a separação parcial dos espectros médios da *Ocotea indecora* e da *Eugenia pyriformis*. Para os parâmetros colorimétricos, a coordenada cromática a^* apresentou menor potencial de distinção entre as Famílias e os parâmetros b^* e h apresentaram maior potencial de distinção entre as espécies. Considerando a espectroscopia no infravermelho próximo na madeira e no carvão, para as famílias, houve a separação apenas da Lauraceae, para as espécies, os espectros foram semelhantes entre si. Utilizando o modelo discriminante, observou-se os melhores resultados para os dados da madeira transformados em segunda derivada. Assim, pode-se concluir, que no geral, as técnicas apresentaram potencial de separação para a distinção das espécies e das famílias, desde que, sejam utilizadas as técnicas quimiométricas adequadas.

Palavras-chave: Carvão. Fabaceae. Lauraceae. Madeira. Myrtaceae.

ABSTRACT

Considering the diversity of botanical families native to the Araucaria Forest, this chapter aimed to compare the behavior of the colorimetric characteristics of wood and the near infrared spectra of wood and charcoal of species of Fabaceae, Lauraceae and Myrtaceae. For this purpose, discs of the following species were collected: *Campomanesia xanthocarpa* Berg, *Eugenia pyriformis* Cambess., *Inga vera* Willd., *Muelleria campestris* Mart. ex Benth., *Machaerium paraguariense* Hassl., *Myrcia retorta* Cambess., *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez, *Ocotea indecora* (Schott) Mez, *Ocotea diospyrifolia* (Meisn.) Mez, *Ocotea puberula* (Rich.) Nees and *Plinia peruviana* (Poir.) Govaerts. The discs were sectioned, thus obtaining the specimens for the colorimetric and near-infrared spectrum analyses. The spectral behavior of wood samples in the visible region and wood and charcoal for the near infrared region were visually evaluated. In the statistical analysis, comparisons of the means of the colorimetric parameters of the wood of species and families were performed using the Duncan test. In addition, the k-NN discriminant analysis was also used to verify the accuracy in discriminating the materials analyzed between species and families. As a result, in the colorimetric spectra only the Fabaceae family differed from the others, for the species there was a partial separation of the mean spectra of *Ocotea indecora* and *Eugenia pyriformis*. For the colorimetric parameters, the chromatic coordinate a^* had lower potential for distinguishing between Families, and parameters b^* and h had higher potential for distinguishing between species. Considering the near infrared spectroscopy in wood and charcoal, for the families, there was a separation only from Lauraceae, for the species, the spectra were similar to each other. Using the discriminant model, the best results were observed for wood data transformed into the second derivative. Thus, it can be concluded that, in general, the techniques showed potential for separation to distinguish species and families, as long as appropriate chemometric techniques are used.

Keywords: Charcoal. Fabaceae. Lauraceae. Wood. Myrtaceae.

5.1 INTRODUÇÃO

Atualmente, diversas pesquisas buscam métodos para a identificação de espécies utilizando a madeira e carvão. Dentre esses métodos, destaca-se a utilização das características específicas dos elementos anatômicos das estruturas macroscópicas e microscópicas desses materiais. Neste sentido, visando subsidiar esse tipo de identificação, foram realizadas diversas pesquisas, dentre elas, algumas utilizaram as espécies nativas da Mata Atlântica e da Floresta Ombrófila Mista (VIEIRA et al., 2019a; SISTON et al., 2020; SECCHI et al., 2017; SANTOS, 2019).

Porém, Martins-da-Silva, Hopkins e Thompson (2003) destacam que é necessário estimular formação de novos identificadores de madeira (pela anatomia), uma vez que, erros na identificação das espécies durante as transações comerciais de madeira, implicam inclusive, em consequências financeiras graves. Contudo, os mesmos autores, afirmam que é necessário aumentar o número de pessoas capacitadas para identificação das espécies.

Visando suprir a baixa disponibilidade de pessoas capacitadas para identificar as espécies utilizando a estrutura anatômica, é necessário investigar os potenciais de utilização de métodos alternativos para a identificação de espécies utilizando a madeira e o carvão. Dentre estes, para a madeira a colorimetria e a espectroscopia no infravermelho próximo são técnicas com potencial de utilização (NISGOSKI et al., 2017; SOUSA et al., 2019; LAZARESCU et al., 2017; HWANG et al., 2016; PASTORE et al., 2011).

Em contrapartida, quando considerado o carvão, algumas pesquisas indicam a espectroscopia no infravermelho próximo como potencial método para a distinção de espécies (VIEIRA et al., 2021; DAVRIEUX et al., 2010; MUÑIZ et al., 2016).

Nos capítulos anteriores, foram avaliados os comportamentos específicos de cada família. Quando analisadas separadamente, no geral, as Famílias apresentaram bom potencial de distinção entre as espécies. Contudo, ainda é necessário avaliar o comportamento geral das diferentes espécies, ao analisar o conjunto formado por todas as Famílias.

Assim, o objetivo deste capítulo foi comparar o comportamento das características colorimétricas da madeira e dos espectros do infravermelho próximo da madeira e do carvão de espécies nativas (*Campomanesia xanthocarpa* Berg, *Eugenia pyriformis* Cambess., *Inga vera* Willd., *Muellera campestris* Mart. ex Benth., *Machaerium paraguariense* Hassl., *Myrcia retorta* Cambess., *Nectandra*

megapotamica (Spreng.) Mez, *Ocotea indecora* (Schott) Mez, *Ocotea diospyrifolia* (Meisn.) Mez, *Ocotea puberula* (Rich.) Nees e *Plinia peruviana* (Poir.) Govaerts) da Floresta Ombrófila Mista das famílias Fabaceae, Lauraceae e Myrtaceae.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste capítulo, foram utilizados os materiais coletados previamente para as análises realizadas nos Capítulos 2, 3 e 4. Na Tabela 5. 1, estão descritas as informações, dos nomes científicos e populares das espécies, o número do registo das amostras no Herbário Lages da Universidade do Estado de Santa Catarina (LUSC), o diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores e as coordenadas geográficas do local de coleta de todas as amostras.

Salienta-se ainda, que para cada uma das árvores, foram coletados dois discos de madeira (na altura do diâmetro à altura do peito - DAP) e material botânico. O material botânico e um disco foram utilizados para identificação, registo e armazenamento no LUSC. Os discos remanescentes, um de cada indivíduo foram utilizados para as análises.

Conforme o descrito para os capítulos anteriores, dos discos, foram amostrados corpos de prova com dimensões finais de 2 x 2 x 2 centímetros (comprimento, largura e espessura). Ainda, seguindo a metodologia indicada por Vanclay, Henson e Palmer (2008) todos os corpos de prova, foram polidos para reduzir os efeitos da oxidação e das possíveis marcas de serra. Para garantir a padronização das umidades das amostras durante as análises, as mesmas foram armazenadas em ambiente controlado (Temperatura $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e Umidade $50 \pm 2\%$).

5.2.1 Análise dos parâmetros colorimétricos

A caracterização colorimétrica das madeiras seguiu o mesmo padrão descrito para os capítulos anteriores. Em todas as amostras, foi utilizado o sistema CIEL*a*b*, e o espectrofotômetro Konica Minolta CM-5, em associação com o programa SpectraMagic NX. Para tal, foi utilizada uma lâmpada de xenônio difusa, ângulo de observação de 10 graus e iluminante D65. Foram realizadas seis leituras por corpo de prova, sendo duas em cada plano de corte (transversal, tangencial e radial). Ao final das análises, foram obtidos os valores de L*= luminosidade, a*= coordenadas do eixo verde-vermelho e b*= coordenada do eixo azul-amarelo. Além disso, foram calculados C* = saturação e h= ângulo de tinta de acordo com as equações (1) e (2).

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

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

TABELA 5. 1 - DADOS DAS ESPÉCIES NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ANALISADAS.

Espécie	Nome popular	Família	Disco	Número do Registro	DAP (cm)	Altitude (m)
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> Berg	Guabiroba	Myrtaceae	10-1	LUSC 6188	39.5	680
			10-2	LUSC 6189	34	730
			10-3	LUSC 6190	22	733
<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.	Uvaia	Myrtaceae	22-1	LUSC 6219	18	*
			22-2	LUSC 6220	15	750.9
			22-3	LUSC 6221	15	752.7
<i>Inga vera</i> Willd.	Ingá	Fabaceae	25-1	LUSC 6225	26	701
			25-2	LUSC 6226	18	851
			25-3	LUSC 6227	17.5	731
<i>Muelleria campestris</i> Mart. ex Benth.	Pau-canzil	Fabaceae	29-1	LUSC 6237	31.2	692
			29-2	LUSC 6238	25.1	696
			29-3	LUSC 6239	15	740
<i>Machaerium paraguariense</i> Hassl.	Jacaranda-branco	Fabaceae	31-1	LUSC 6243	18.3	734
			31-2	LUSC 6244	12.9	734
			31-3	LUSC 6245	11	734
<i>Myrcia retorta</i> Cambess.	Guamirim-ferro	Myrtaceae	36-1	LUSC 6252	27.1	764.7
			36-2	LUSC 6253	17.3	790.6
			36-3	LUSC 6254	10.6	758.4
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	Canela-imbuia	Lauraceae	40-1	LUSC 6264	27.7	661
			40-2	LUSC 6265	23.1	677
			40-3	LUSC 6266	35.2	688
<i>Ocotea indecora</i> (Schott) Mez	Canela	Lauraceae	41-1	LUSC 6267	41.2	680
			41-2	LUSC 6268	34.1	680
			41-3	LUSC 6269	17.5	679
<i>Ocotea diospyrifolia</i> (Meisn.) Mez	Canela	Lauraceae	42-1	LUSC 6270	50.6	680
			42-2	LUSC 6271	38.8	703
			42-3	*	32.2	*
<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	Canela-sebo	Lauraceae	43-1	LUSC 6273	33.7	695
			43-2	*	32.1	*
			43-3	LUSC 6275	29	746
<i>Plinia peruviana</i> (Poir.) Govaerts	Jabuticaba	Myrtaceae	60-1	LUSC 6324	25.8	713.3
			60-2	LUSC 6325	26	622.5
			60-3	LUSC 6326	22.7	708.5

FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: *Sem registro.

5.2.1.1 Teste de médias

Após a confirmação da normalidade (Kolmogorov–Smirnov) e homogeneidade das variâncias (Bartlett), foi realizado o teste de médias de Duncan, todos os testes com 95% de probabilidade.

Destaca-se que os testes de médias foram realizados para comparar as diferentes espécies (*Campomanesia xanthocarpa* Berg, *Eugenia pyriformis* Cambess., *Inga vera* Willd., *Muelleria campestris* Mart. ex Benth., *Machaerium paraguariense* Hassl., *Myrcia retorta* Cambess., *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez, *Ocotea indecora* (Schott) Mez, *Ocotea diospyrifolia* (Meisn.) Mez, *Ocotea puberula* (Rich.) Nees e *Plinia peruviana* (Poir.) Govaerts) e as diferentes Famílias (Fabaceae, Lauraceae e Myrtaceae).

Deve-se salientar ainda, que todas as análises realizadas para os testes de médias foram feitas utilizando o software R (2018).

5.2.1.2 Análise de componentes Principais para a colorimetria

A análise de componentes principais (PCA) também foi realizada no software R, utilizando os pacotes FactoMineR (LÊ, JOSSE e HUSSON, 2008) e factoextra (KASSAMBARA & MUNDT, 2017). A PCA foi aplicada na madeira, para verificar o comportamento das espécies e das Famílias em relação aos espectros obtidos, com dados originais e segunda derivada de Savitzky-Golay, com suavização = 3.

5.2.1.3 Modelos de Classificação para os espectros colorimétricos

Para verificar o potencial de classificação das espécies e das Famílias, foram utilizados os dados dos espectros originais e em segunda derivada. Para tal, foi utilizado o modelo discriminante de *k-Nearest Neighbors* (k-NN).

O modelo foi testado utilizando a função “train” no pacote “caret” no software R (KUHN et al., 2020). Na comparação entre os resultados utilizaram-se os valores de acurácia resultantes de cada conjunto de dados analisados. Além disso, em todas as situações, foi utilizada a amostragem aleatória estratificada em conjunto de aprendizado (70%) e teste (30%).

5.2.2 Análise da espectroscopia no infravermelho próximo

Assim como nos capítulos anteriores, as leituras NIR foram realizadas utilizando um espectrômetro Tensor 37 (Bruker), adaptado com uma esfera de integração, operando em reflectância difusa (4.000 a 10.000 cm^{-1}) com resolução 4 cm^{-1} e 64 varreduras.

Ainda, conforme o descrito anteriormente, primeiro, foram realizadas as análises dos espectros NIR para a madeira, foram realizadas duas leituras em cada plano anatômico (transversal, tangencial e radial). Após realizar as leituras para as amostras de madeira, foi realizado o processo de carbonização dos corpos de prova em forno mufla, com temperatura final de 450°C e taxa de aquecimento de 1,66 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, conforme o recomendado por Muñiz et al. (2012).

Posteriormente à produção do carvão, realizou-se as leituras nas amostras, novamente foram realizadas duas leituras em cada plano anatômico (transversal, radial e tangencial).

5.2.2.1 Análise de componentes Principais dos espectros NIR

A análise de componentes principais (PCA) seguiu o mesmo padrão realizado para a colorimetria descrito anteriormente. Porém, para os espectros NIR, foram utilizados os dados originais e segunda derivada de Savitzky-Golay, com suavização = 15, para a madeira e para o carvão.

5.2.2.2 Modelos de Classificação para os espectros NIR

Para comparar os resultados, foram utilizados os espectros originais e em segunda derivada e o modelo de classificação *k-Nearest Neighbors* (k-NN) para a madeira e para o carvão, considerando as Famílias e as espécies analisadas.

Foram utilizadas as funções “train” do pacote “caret” no software R (KUHNS et al., 2020). Para testar o modelo, os conjuntos de dados foram divididos, utilizando a amostragem aleatória estratificada em conjunto de aprendizado (70%) e teste (30%). A acurácia dos modelos, foi utilizada para comparar os resultados de todas as situações avaliadas.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5. 2, estão os resultados obtidos na comparação entre as Famílias para os parâmetros colorimétricos analisados. No geral, para a maior parte dos parâmetros (L*, b*, C* e h) houve diferença significativa entre todas as médias das Famílias analisadas, sendo os maiores resultados observados para a família Fabaceae e os menores valores para a família Myrtaceae. Apenas para a coordenada cromática a*, foi observada semelhança entre as Famílias Fabaceae e Lauraceae, e a família Myrtaceae apresentou a maior média.

TABELA 5. 2 - COMPARAÇÃO ENTRE AS FAMÍLIAS PARA OS DIFERENTES PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS.

Família	L*	a*	b*	C*	h
Fabaceae	67,24 a (6,29)	4,70 b (1,91)	23,14 a (4,93)	23,69 a (4,91)	78,19 a (4,51)
Lauraceae	61,82 b (7,41)	4,90 b (2,43)	18,47 b (4,82)	19,22 b (4,99)	75,14 b (5,87)
Myrtaceae	57,73 c (9,54)	6,91 a (2,71)	14,49 c (2,93)	16,19 c (3,38)	65,05 c (7,63)

FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: Médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 95% de probabilidade. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão.

Os resultados que avaliaram a diferença entre as médias dos parâmetros colorimétricos para as espécies analisadas estão na Tabela 5. 3. Comparando as médias, observou-se comportamento distinto para cada parâmetro colorimétrico, sendo que os parâmetros com maiores potenciais de distinção das espécies foram o b* e o h, e os parâmetros com menores potenciais foram L* e a*.

Para a luminosidade (L*), quatro espécies (*Eugenia pyriformis*, *Inga vera*, *Muellera campestris* e *Ocotea indecora*) apresentaram os maiores resultados, enquanto a *Myrcia retorta* obteve os menores resultados para os parâmetros L* e h. Em contrapartida, para a coordenada cromática a*, a espécie *Myrcia retorta* apresentou a maior média e a *Ocotea indecora* obteve os melhores resultados para os parâmetros a*, b* e C*. Para os parâmetros, b*, C* e h, a madeira da espécie *Muellera campestris* apresentou as maiores médias.

TABELA 5. 3 - COMPARAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS DA MADEIRA DAS ESPÉCIES PARA OS DIFERENTES PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS.

Família	Espécie	L*	a*	b*	C*	h
Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	55,48 e (6,77)	7,17 b (1,84)	15,87 f (2,24)	17,49 d (2,39)	65,70 g (5,24)
Myrtaceae	<i>Eugenia pyriformis</i>	69,75 a (3,10)	3,69 e (1,04)	12,76 h (3,60)	13,30 f (3,69)	73,64 e (2,94)
Fabaceae	<i>Inga vera</i>	68,01 a (6,57)	5,58 c (1,39)	20,49 cd (2,15)	23,12 b (2,28)	75,79 cd (3,13)
Fabaceae	<i>Machaerium paraguariense</i>	65,27 b (4,78)	3,95 e (0,89)	20,03 de (2,18)	20,44 c (2,12)	78,70 b (2,87)
Fabaceae	<i>Muelleria campestris</i>	68,45 a (6,95)	4,57 d (2,65)	28,91 a (3,66)	29,38 a (3,72)	81,01 a (4,88)
Myrtaceae	<i>Myrcia retorta</i>	50,01 f (6,80)	9,87 a (1,68)	15,16 f (2,56)	18,16 d (2,60)	56,69 i (5,29)
Lauraceae	<i>Nectandra megapotamica</i>	61,14 c (7,88)	3,65 e (1,29)	20,88 c (3,39)	21,26 c (3,21)	79,62 b (4,95)
Lauraceae	<i>Ocotea diospyrifolia</i>	58,01 d (5,19)	5,58 c (2,05)	22,28 b (1,89)	23,06 b (1,86)	75,94 cd (5,21)
Lauraceae	<i>Ocotea indecora</i>	69,60 a (2,01)	2,74 f (0,65)	11,38 i (1,05)	11,73 g (1,00)	76,33 c (3,61)
Lauraceae	<i>Ocotea puberula</i>	58,54 d (6,41)	7,65 b (1,76)	19,34 e (2,30)	20,82 c (2,68)	68,65 f (3,07)
Myrtaceae	<i>Plinia peruviana</i>	54,16 e (5,50)	7,23 b (1,34)	14,05 g (1,63)	15,83 e (1,87)	62,87 h (3,65)

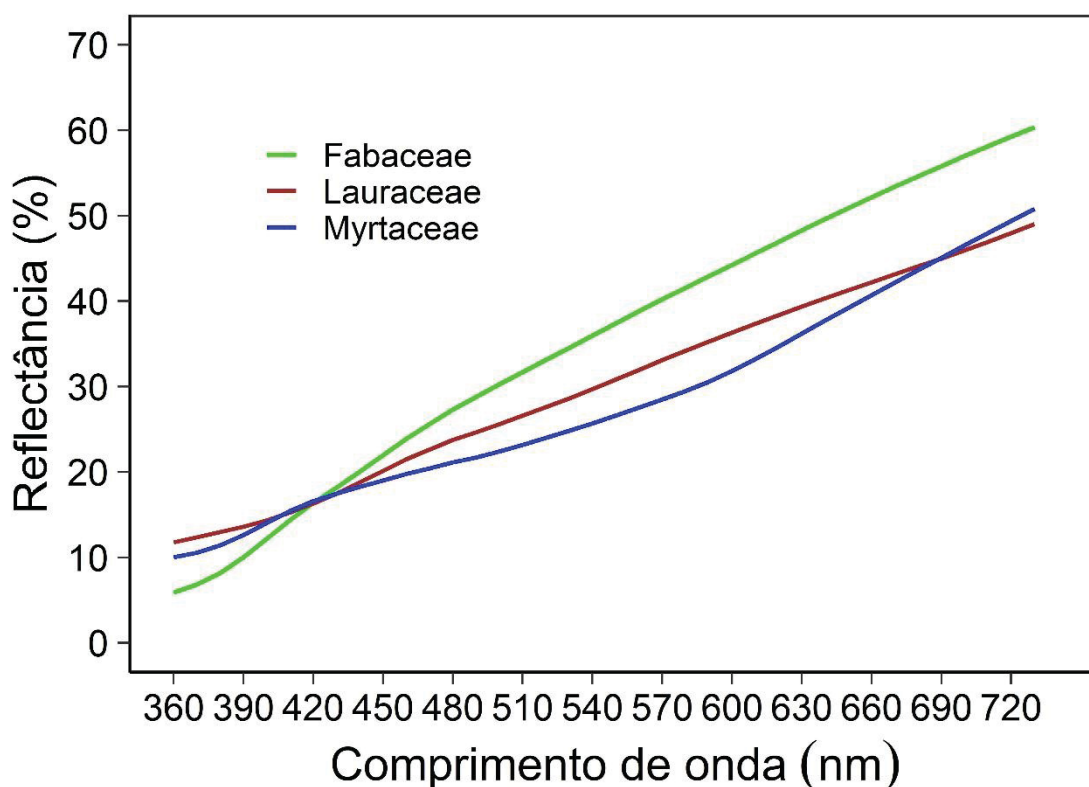
FONTE: A autora (2021).

LEGENDA: Médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 95% de probabilidade. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão.

Salienta-se ainda, que a diferença observada entre as madeiras das espécies é comum quando considerados os parâmetros colorimétricos. Esse comportamento também foi relatado por Camargos e Gonzalez (2001) durante a elaboração de uma tabela de cores de madeira, Silva et al. (2017) relataram diferenças entre a colorimetria das madeiras de trinta espécies tropicais, Sousa et al. (2019) realizaram uma pesquisa visando subsidiar a fiscalização da comercialização da madeira utilizando a colorimetria e descreveram diferenças entre os resultados das espécies analisadas e Ribeiro et al. (2018) caracterizaram a colorimetria de espécies comerciais de madeira da Amazônia brasileira e também encontraram diferença nos resultados entre as espécies.

Os espectros médios da região do visível, das Famílias Fabaceae, Lauraceae e Myrtaceae nativas da Floresta Ombrófila Mista, estão apresentados na Figura 5. 1. No geral, os espectros da região do visível apresentaram comportamentos semelhantes entre si, com maior aproximação do comportamento espectral das Famílias Lauraceae e Myrtaceae.

FIGURA 5. 1 - ESPECTROS MÉDIOS OBTIDOS PARA A MADEIRA NA REGIÃO DO VISÍVEL DAS FAMÍLIAS NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.

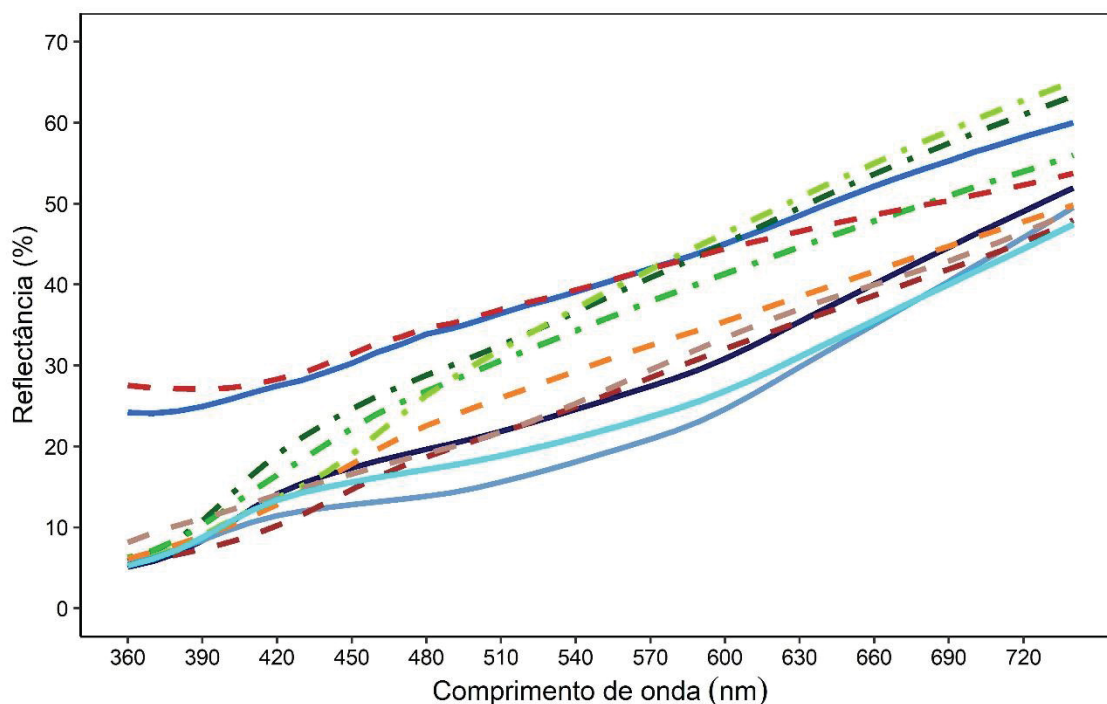


FONTE: A autora (2021).



Visualmente, as espécies analisadas também apresentaram um comportamento semelhante para os espectros médios obtidos na região do visível (FIGURA 5. 2). Observa-se que não houve um agrupamento dos espectros entre as espécies considerando as Famílias botânicas nativas da Floresta Ombrófila Mista. Destaca-se ainda, que as espécies *Eugenia pyriformis* e *Ocotea indecora* apresentaram um comportamento espectral diferente das demais, principalmente quando considerada a faixa do espectro entre 360 e 560 nm. Além disso, observou-

se a aproximação entre as espécies de Fabaceae e a *Eugenia pyriformis* principalmente a partir dos 630 nm.

FIGURA 5. 2 - ESPECTROS MÉDIOS OBTIDOS PARA A MADEIRA NA REGIÃO DO VISÍVEL DAS ESPÉCIES NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.



Espécies

	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>		<i>Nectandra megapotamica</i>
	<i>Eugenia pyriformis</i>		<i>Ocotea diospyrifolia</i>
	<i>Inga vera</i>		<i>Ocotea indecora</i>
	<i>Machaerium paraguariense</i>		<i>Ocotea puberula</i>
	<i>Muelleria campestris</i>		<i>Plinia peruviana</i>
	<i>Myrcia retorta</i>		

Famílias

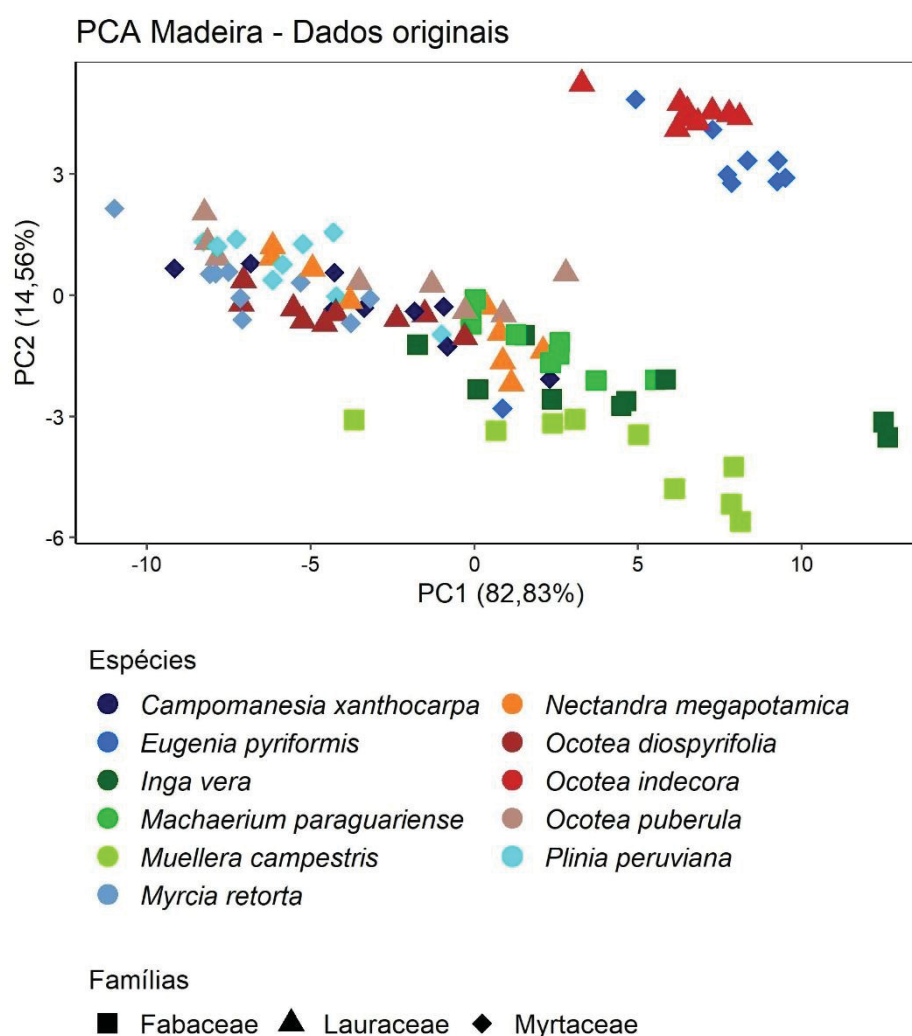
	Fabaceae		Lauraceae		Myrtaceae
---	----------	---	-----------	---	-----------

FONTE: A autora (2021).

Na Análise de componentes principais resultante da utilização dos espectros colorimétricos obtidos para as madeiras analisadas (FIGURA 5. 3), no geral, houve o agrupamento parcial das amostras das mesmas espécies, considerando as famílias a Fabaceae foi a que apresentou maior distanciamento das demais. Além disso, considerando as espécies, as amostras de *Ocotea indecora* e *Eugenia pyriformis*

também apresentaram tendência de separação, contudo, salienta-se que uma amostra *Eugenia pyriformis* não ficou junto com as demais da mesma espécie e se confundiu com as espécies de Fabaceae. Provavelmente, essa confusão foi ocasionada por alguma alteração natural da madeira (como por exemplo os anéis de crescimento) que resultaram em menores valores de reflectância na faixa espectral até 510 nm e consequentemente, resultaram na aproximação dessa amostra com as amostras da Família Fabaceae.

FIGURA 5. 3 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS ORIGINAIS MÉDIOS DA REGIÃO DO VISÍVEL DA MADEIRA DAS ESPÉCIES E DAS FAMÍLIAS AVALIADAS.

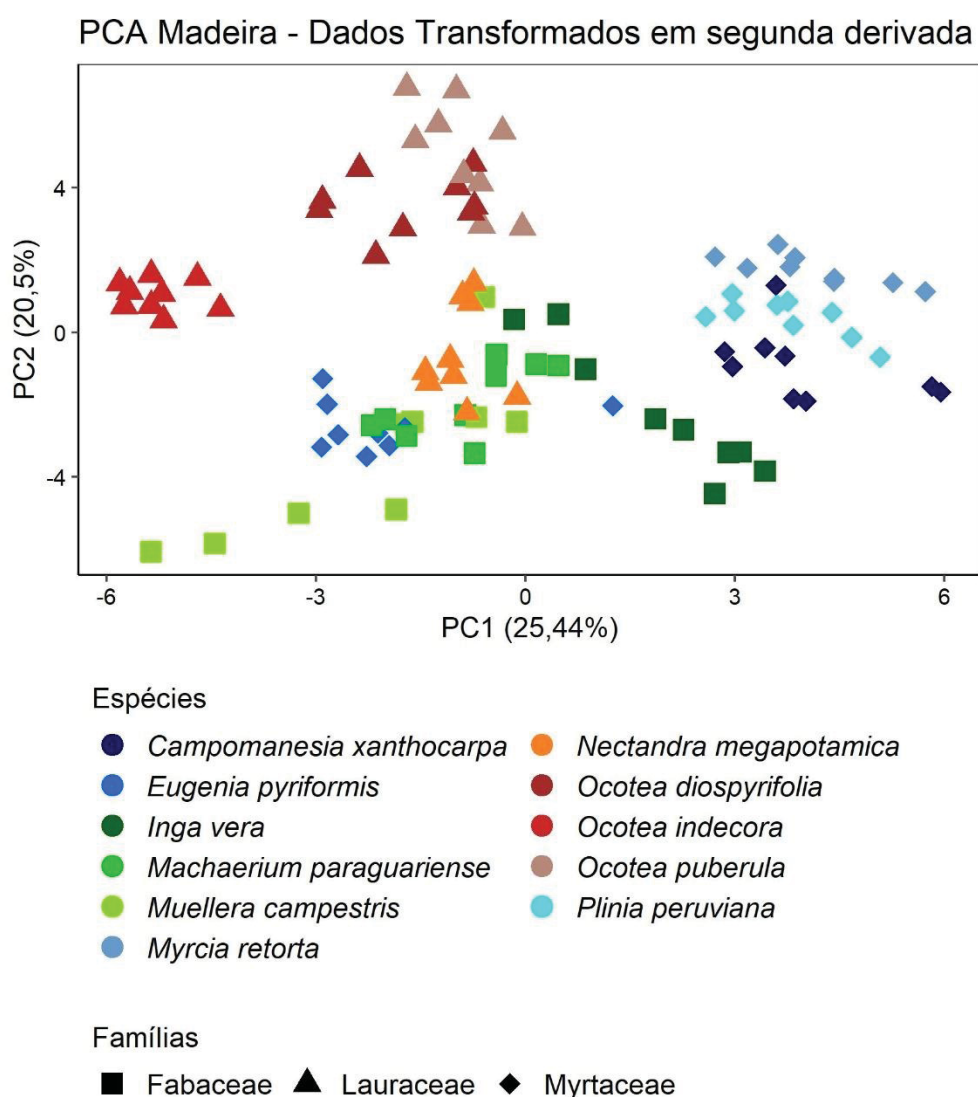


FONTE: A autora (2021).

A análise de componentes principais resultante da utilização dos espectros colorimétricos obtidos na região do visível, transformados em segunda derivada está apresentado na Figura 5. 4. Nessa situação, foi observada uma melhor separação

visual entre as famílias, principalmente, considerando a Myrtaceae, em que, apenas as amostras de *Eugenia pyriformis* misturaram-se com as amostras de Lauraceae e Fabaceae, novamente, essa confusão pode estar relacionada com alterações naturais resultantes do processo de crescimento da árvore. Ainda, visualmente, fica evidente o agrupamento entre as amostras da mesma espécie.

FIGURA 5. 4 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS TRANSFORMADOS EM SEGUNDA DERIVADA, MÉDIOS DA REGIÃO DO VISÍVEL DA MADEIRA DAS ESPÉCIES E DAS FAMÍLIAS AVALIADAS.

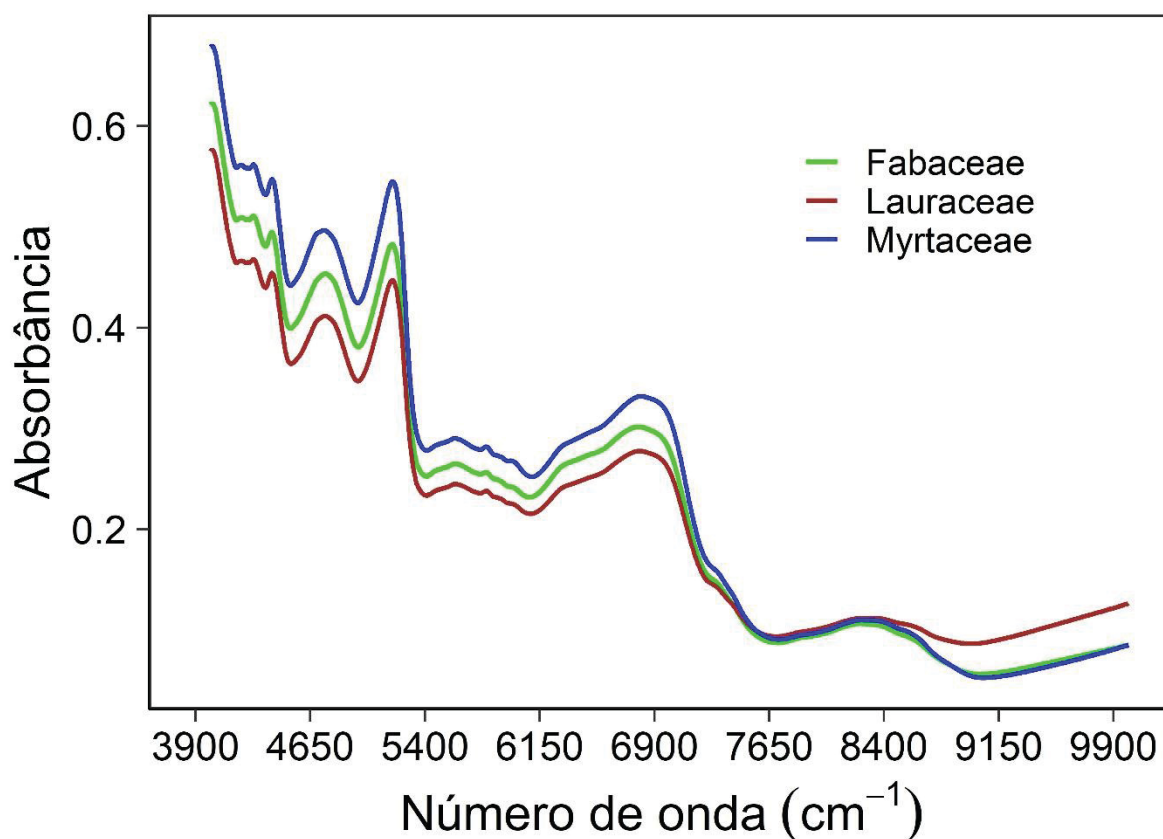


FONTE: A autora (2021).

Na Figura 5. 5, estão apresentadas as médias dos espectros da espectroscopia do infravermelho próximo da madeira para as Famílias analisadas.

Destaca-se ainda que foi observada uma tendência de afastamento do espectro médio da Família Lauraceae, principalmente entre 8400 até 9900 cm^{-1} .

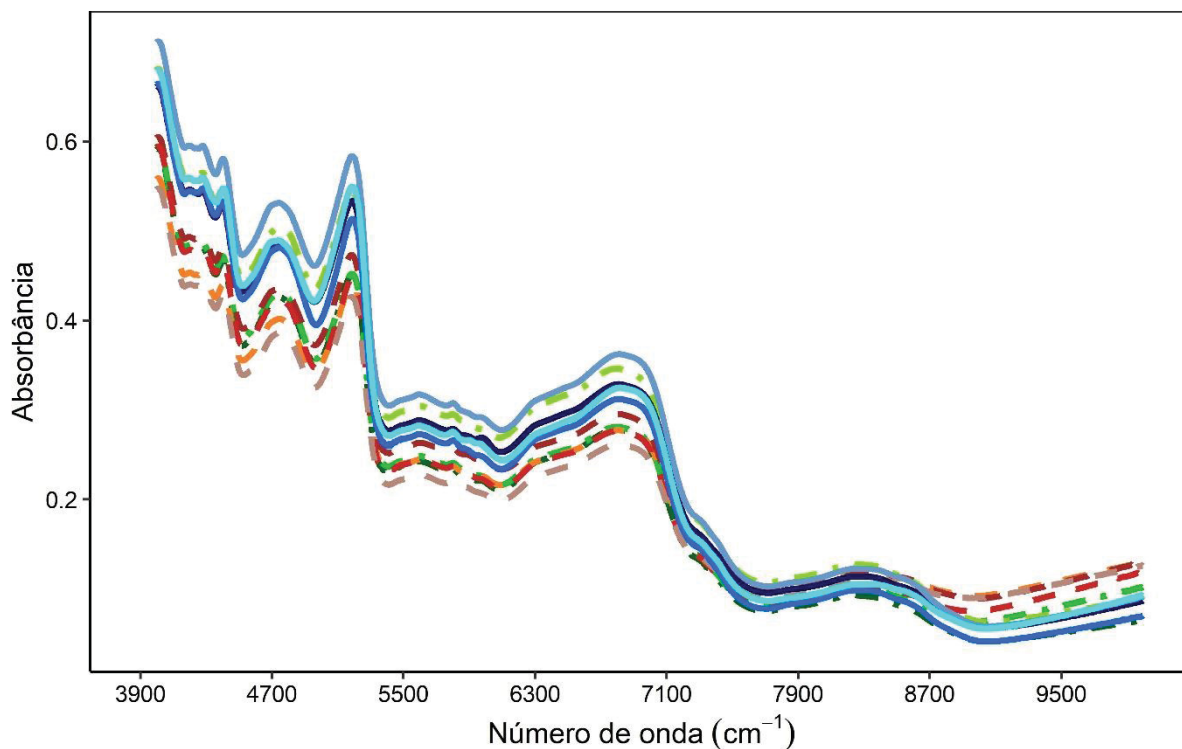
FIGURA 5. 5 - ESPECTROS NIR MÉDIOS DA MADEIRA DAS FAMÍLIAS NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.





FONTE: A autora (2021).

Para as espécies, o comportamento espectral foi semelhante para todas as amostras (FIGURA 5. 6). Não sendo possível realizar a diferenciação das amostras utilizando apenas a classificação visual, procedeu-se as análises de componentes principais.

FIGURA 5. 6 - ESPECTROS NIR MÉDIOS DA MADEIRA DAS ESPÉCIES NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.



Espécies

	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>		<i>Nectandra megapotamica</i>
	<i>Eugenia pyriformis</i>		<i>Ocotea diospyrifolia</i>
	<i>Inga vera</i>		<i>Ocotea indecora</i>
	<i>Machaerium paraguariense</i>		<i>Ocotea puberula</i>
	<i>Muelleria campestris</i>		<i>Plinia peruviana</i>
	<i>Myrcia retorta</i>		

Famílias

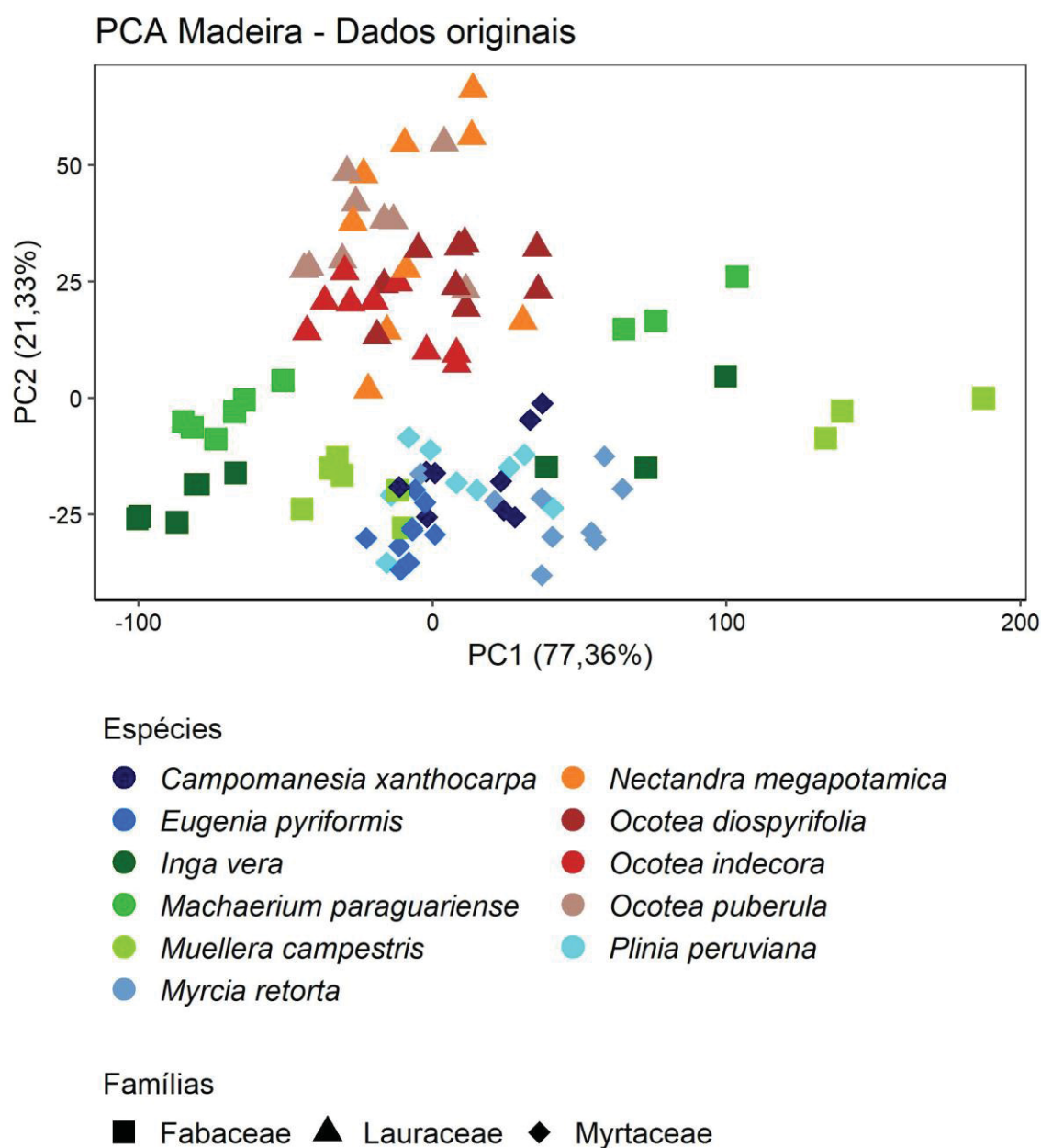
	<i>Fabaceae</i>		<i>Lauraceae</i>		<i>Myrtaceae</i>
---	-----------------	---	------------------	---	------------------

FONTE: A autora (2021).

Ao avaliar os resultados obtidos para a análise de componentes principais da utilização dos espectros NIR originais para a madeira, observa-se a separação da Família Lauraceae e a dispersão das amostras de Fabaceae (FIGURA 5. 7). Possivelmente, essa separação é consequência da diferenciação química entre as espécies da Família Lauraceae quando comparada às demais, esse comportamento pode ser resultante de características anatômicas, como por exemplo, a presença das células oleíferas, que é observada nas espécies Família Lauraceae analisadas neste

trabalho. Apesar de visualmente agrupadas, as amostras de Myrtaceae, apresentam regiões de confusão com as amostras de Fabaceae. Além disso, constatou-se a tendência do agrupamento, para a maior parte das espécies analisadas.

FIGURA 5. 7 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS NIR ORIGINAIS MÉDIOS DA MADEIRA DAS ESPÉCIES E DAS FAMÍLIAS AVALIADAS.

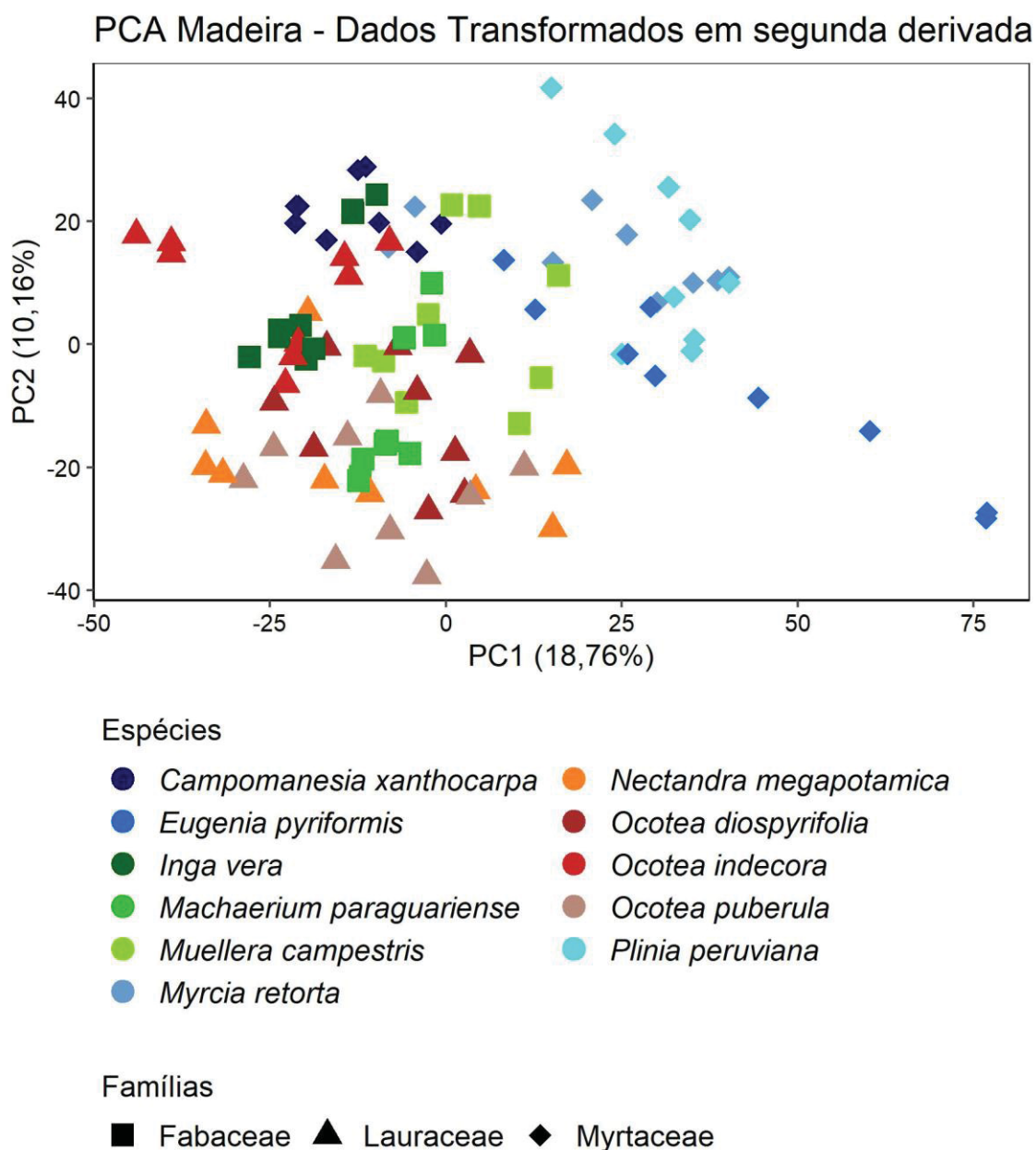


FONTE: A autora (2021).

Na Figura 5. 8 são apresentados os resultados da análise de componentes principais para os espectros NIR das amostras de madeira, transformados em segunda derivada. Nessa situação, visualmente, as amostras das diferentes famílias

apresentaram uma maior dispersão, principalmente, se comparar com os resultados obtidos para os dados originais. De maneira geral, as espécies apresentaram o mesmo comportamento, ou seja, foi observado um maior distanciamento entre as amostras das mesmas espécies.

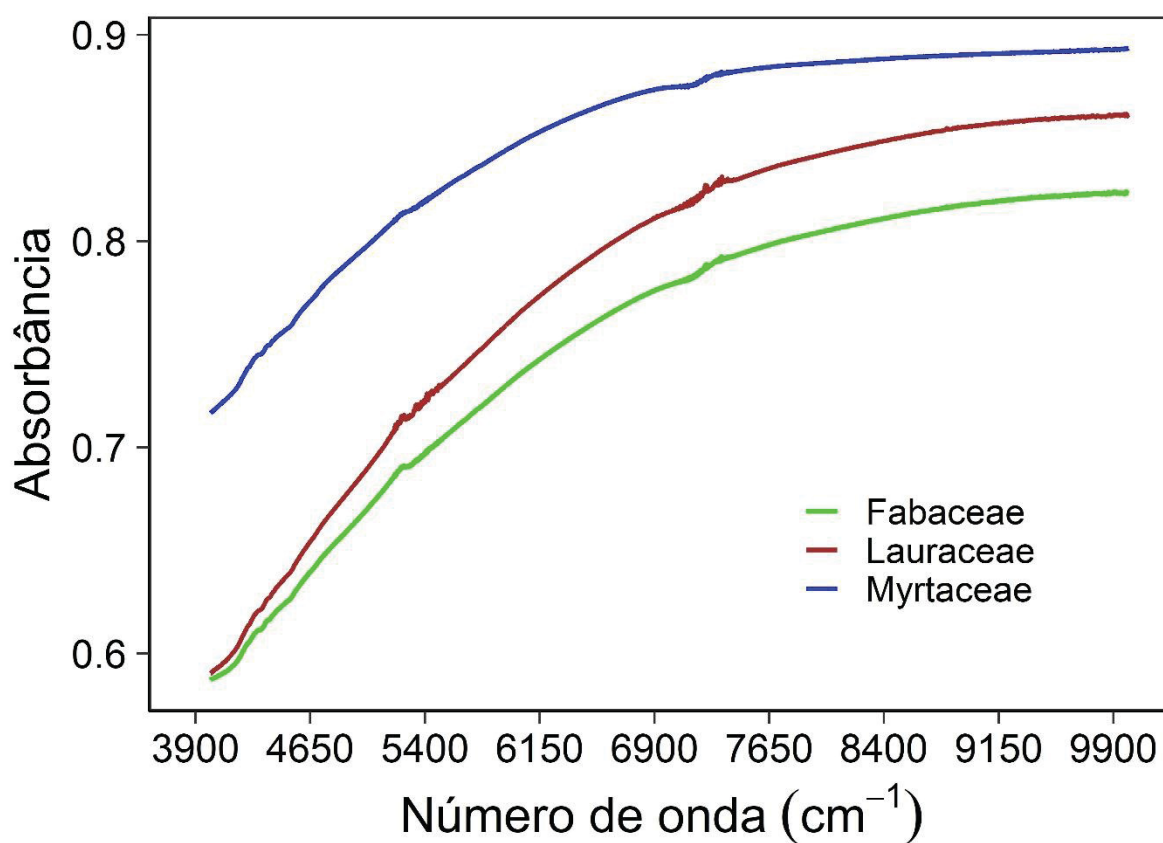
FIGURA 5. 8 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS NIR MÉDIOS TRANSFORMADOS EM SEGUNDA DERIVADA DA MADEIRA DAS ESPÉCIES E DAS FAMÍLIAS AVALIADAS.



FONTE: A autora (2021).

Na Figura 5. 9, podem ser observados os espectros médios obtidos para o carvão, utilizando a espectroscopia no infravermelho próximo. Não foi observada nenhuma tendência de agrupamento entre as Famílias para os espectros médios obtidos com o espectro no infravermelho próximo.

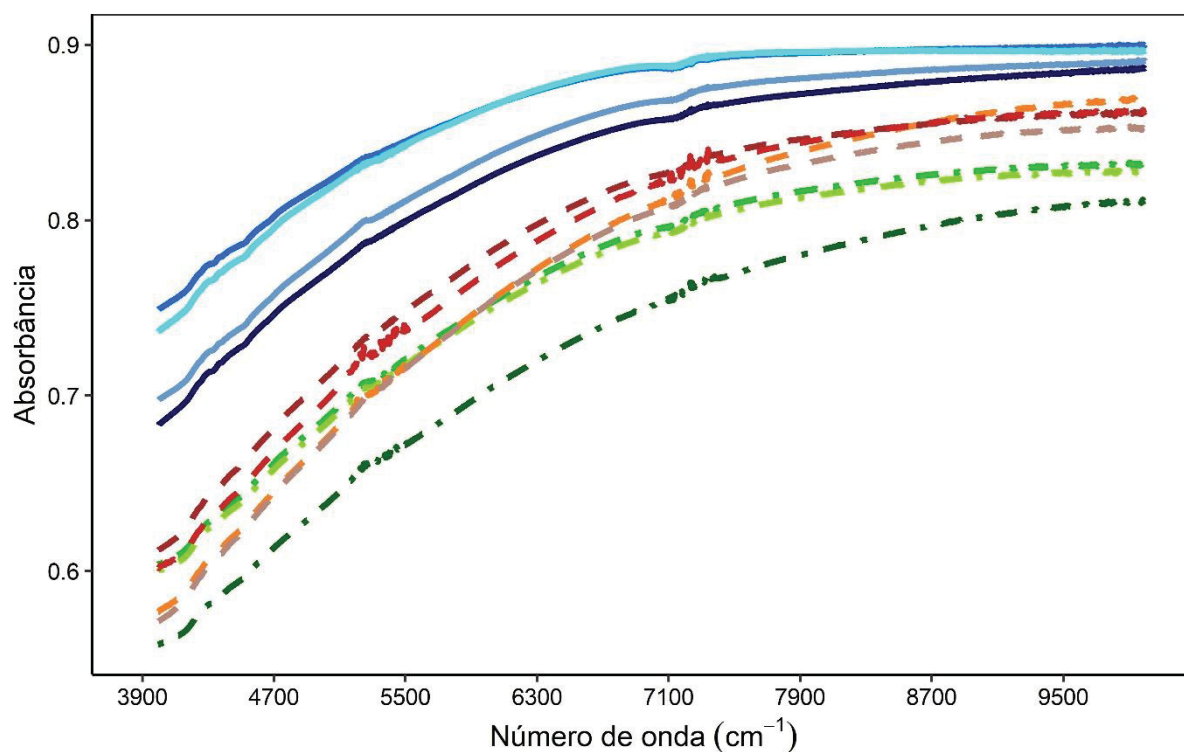
FIGURA 5. 9 - ESPECTROS NIR MÉDIOS DO CARVÃO DAS FAMÍLIAS NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.



FONTE: A autora (2021).

A semelhança dos espectros também é observada quando são comparados os resultados obtidos na região do infravermelho das diferentes espécies analisadas (FIGURA 5. 10).

FIGURA 5. 10 - ESPECTROS NIR MÉDIOS DO CARVÃO DAS ESPÉCIES NATIVAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.



Espécies

—	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	—	<i>Nectandra megapotamica</i>
—	<i>Eugenia pyriformis</i>	—	<i>Ocotea diospyrifolia</i>
—	<i>Inga vera</i>	—	<i>Ocotea indecora</i>
—	<i>Machaerium paraguariense</i>	—	<i>Ocotea puberula</i>
—	<i>Muelleria campestris</i>	—	<i>Plinia peruviana</i>
—	<i>Myrcia retorta</i>		

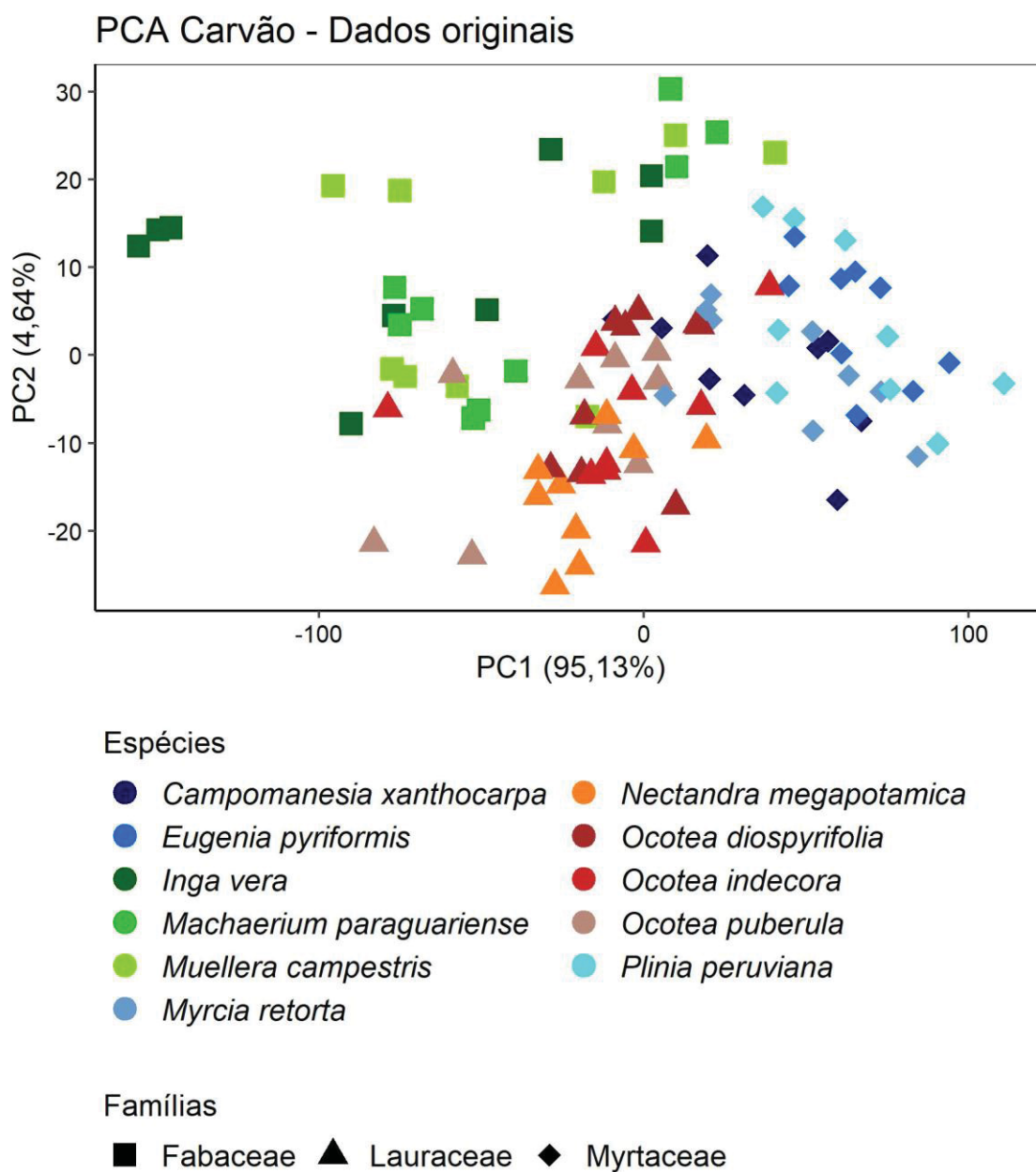
Famílias

· - · - ·	Fabaceae	- - -	Lauraceae	—	Myrtaceae
-----------	----------	-------	-----------	---	-----------

FONTE: A autora (2021).

Na Figura 5. 11, está representado o resultado da análise de componentes principais quando foram utilizados os espectros originais médios do carvão das espécies e das Famílias avaliadas. No geral, observou-se para as famílias a tendência de agrupamento. Contudo, houve pouca tendência de agrupamento para as amostras da mesma espécie.

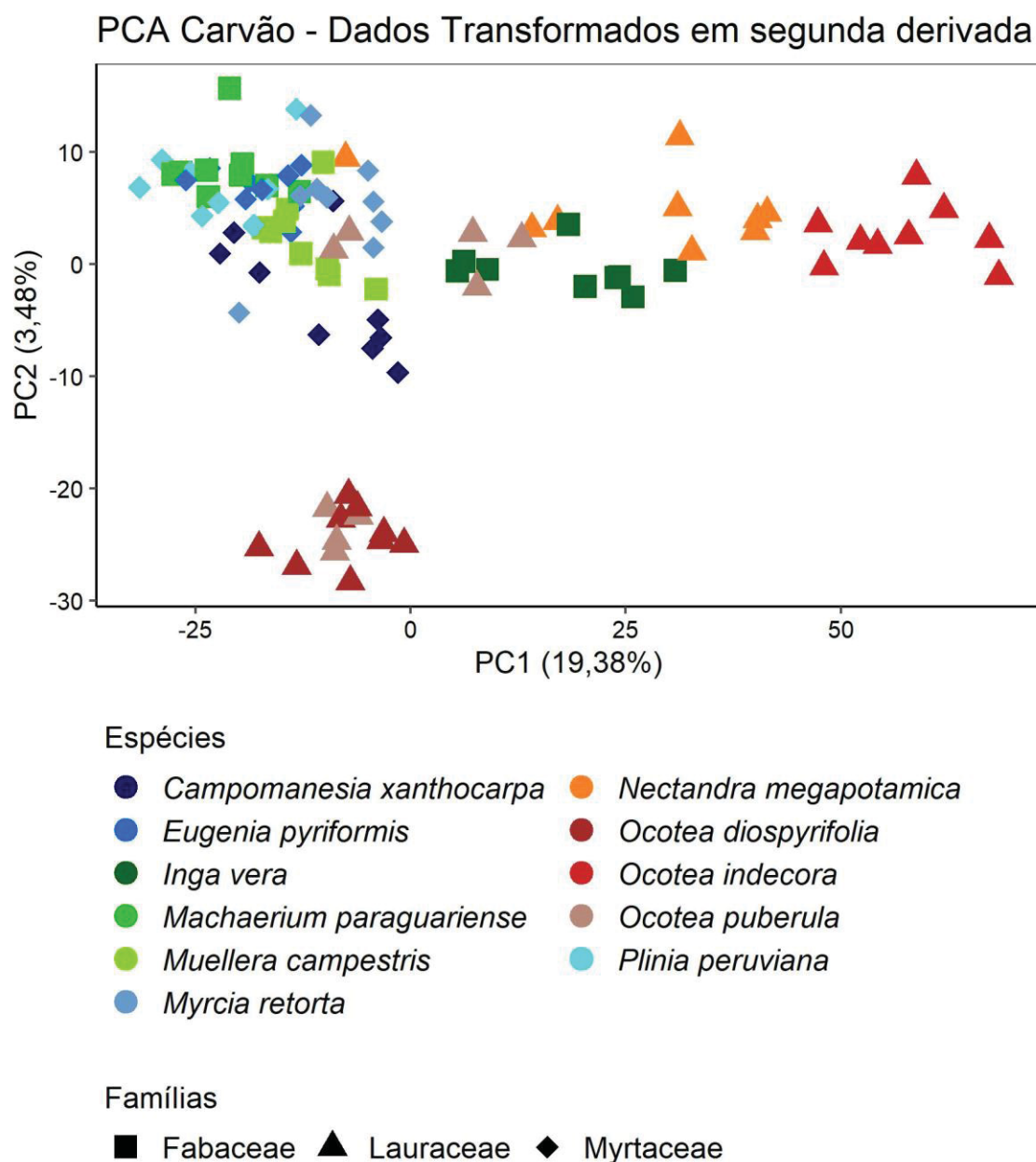
FIGURA 5. 11 - GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS NIR ORIGINAIS MÉDIOS DO CARVÃO DAS ESPÉCIES E DAS FAMÍLIAS AVALIADAS.



FONTE: A autora (2021).

Para a análise de componentes principais resultante da utilização dos espectros do carvão transformados em segunda derivada, destaca-se que houve confusão entre todas as famílias e também, para a separação entre as espécies (FIGURA 5. 12). Evidencia-se ainda, que para as famílias o resultado de discriminação foi pior que os obtidos para a Análise de componentes principais resultante da utilização dos dados originais.

FIGURA 5. 12 – GRÁFICO DE ESCORES DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DOS ESPECTROS NIR MÉDIOS TRANSFORMADOS EM SEGUNDA DERIVADA DO CARVÃO DAS ESPÉCIES E DAS FAMÍLIAS AVALIADAS.



FONTE: A autora (2021).

De maneira geral, nas análises de componentes principais, foram observadas baixas separações individuais entre as famílias e as espécies, independentemente do conjunto de espectros analisados. Nesse sentido, fica evidente a necessidade de um banco de dados mais robusto, com uma amostragem ainda maior de espécies e espécimes que seja capaz de representar a grande variabilidade que são observadas na madeira e no carvão das espécies nativas.

Após avaliar visualmente os espectros, e realizar a análise de componentes principais dos mesmos, estes foram utilizados na análise discriminante para verificar se seriam obtidos bons resultados tanto na distinção das espécies quanto nos resultados para a distinção das famílias (TABELA 5. 4).

TABELA 5. 4 - VALORES DE ACURÁCIA (%) PARA O MODELO DISCRIMINANTE k-NN PARA IDENTIFICAR AS FAMÍLIAS E AS ESPÉCIES DAS AMOSTRAS.

Técnica de análise	Espectros colorimétricos		Espectros do Infravermelho Próximo			
	Material		Material		Material	
Grupo	Famílias	Espécies	Famílias	Espécies	Famílias	Espécies
Dados Originais	88,17	75,57	71,59	54,55	64,77	22,73
Segunda Derivada	98,31	93,47	99,43	99,43	68,75	43,75

FONTE: A autora (2021).

No geral, para todas as situações avaliadas, os resultados transformados em segunda derivada apresentaram melhores resultados. Destaca-se ainda, que para quase todas as situações, os resultados de discriminação das Famílias foram superiores aos encontrados para a separação das espécies, a exceção dessa situação foi a avaliação realizada com os espectros do infravermelho próximo transformados em segunda derivada para a madeira.

Quando considerado os dois métodos para a madeira, os espectros colorimétricos apresentaram maiores valores de acurácia para os dados originais e resultados inferiores para os dados transformados em segunda derivada, tanto para a discriminação das espécies quanto para as Famílias. Para o carvão, o melhor resultado, foi obtido para a separação das Famílias utilizando os espectros transformados em segunda derivada. Salienta-se ainda, que a melhora dos resultados de identificação de espécies após a transformação dos dados em segunda derivada já foi observada em outros trabalhos (NISGOSKI et al., 2017) e também nos Capítulos 3 e 4.

5.4 CONCLUSÕES

Na colorimetria, a coordenada cromática a^* apresentou menor potencial de distinção entre as famílias, enquanto os parâmetros b^* e h apresentaram maior potencial de distinção entre as espécies. Considerando os espectros no visível, para as famílias o espectro colorimétrico da Fabaceae diferenciou-se das demais. Nas espécies houve a separação parcial dos espectros médios da *Ocotea indecora* e da *Eugenia pyriformis*.

Analisando visualmente, os espectros NIR da madeira, para as Famílias, houve a separação da Lauraceae, em contrapartida, as espécies apresentaram curvas de absorvância semelhantes. No carvão, a Família Lauraceae também se diferenciou das demais e entre as espécies também foram observadas semelhanças entre os diferentes grupos de amostras.

Utilizando o modelo discriminante, observou-se os melhores resultados para os espectros obtidos na espectroscopia no infravermelho próximo, com os dados da madeira transformados em segunda derivada.

REFERÊNCIAS

- 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.
- 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.
- 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, p. 156–167, 2016.
- KASSAMBARA A; MUNDT F. Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. **R package version 1.0.5**. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>. 2017.
- KUHN, M.; WING, J.; WESTON, S.; WILLIAMS, A.; KEEFER, C.; ENGELHARDT, A.; BENESTY, M. Package ‘caret’. **The R Journal**, 2020. 223 p.
- 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.
- LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. **Journal of statistical software**, v. 25, n. 1, p. 1-18, 2008.
- MARTINS-DA-SILVA, R. C. V.; HOPKINS, M. G.; THOMPSON, I. S. Identificação botânica na Amazônia: situação atual e perspectivas. **Embrapa Amazônia Oriental- Documentos** (INFOTECA-E), 2003.
- 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, 2012.
- 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.; MUNIZ, 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.
- PASTORE, T. C. M.; BRAGA, J. W. B.; CORADIN, V. T. R.; MAGALHÃES, W. L. E.; OKINO, E. Y. A.; CAMARGOS, J. A. A.; DE 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, p. 73-80, 2011.

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RIBEIRO, E. S.; GONÇALEZ, J. C.; LIMA, C. M.; RODRIGUES, E. C. C.; PAULA, M. H.; MESQUITA, R. R. S.; QUEIROZ, F. L. C.; LESSES, O. M. G. Colorimetry and anatomical characterization of commercial wood species from the Brazilian Amazon. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 12, n. 2, p. 15-23, 2018.

SANTOS, S. R. Tendências anatômicas na flora sul-riograndense 2-Parênquima axial. **Balduinia**, n. 65, p. 15-34, 2019.

SECCHI, M. I.; MARIANI, L. F.; KAUFFMANN, M.; OSTERKAMP, I. C.; BAUERMANN, S. G.; JASPER, A. Anatomia do carvão de espécies nativas da região do Vale do Taquari (Bioma Mata Atlântica) – base de dados para estudos arqueobotânicos. **Revista Estudo & Debate**, v. 24, n. 3, p. 29-43, 2017.

SILVA, R. A. F.; SETTER, C.; MAZETTE, S. S.; DE MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M. Colorimetria da madeira de trinta espécies tropicais. **Revista Ciência da Madeira**, v. 8, n. 1, p. 29-43, 2017.

SISTON, T. F.; DAS NEVES BRANDES, A. F.; BONA, L.; CRISPIM, G.; VOIGT, A.; BARROS, C. F. Identificação Macroscópica e Microscópica das Madeiras do Parque Nacional do Itatiaia: Chave Interativa Desenvolvida em Software Livre. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, n. 2, p. 178-204, 2020.

SOUSA, W. C. S.; BARBOSA, L. J.; SOARES, A. A. V.; GOULART, S. L.; PROTÁSIO, T. P. Wood colorimetry for the characterization of Amazonian tree species: a subsidy for a more efficient classification. **Cerne**, v. 25, n. 4, p. 451-462, 2019.

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.; SANTOS, J. X. D.; LOPES DA SILVA, E.; D'ANGELO RIOS, P.; DE MUÑIZ, G. I. B.; RIBEIRO MORRONE, S.; 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**, v. 16, n. 3, p. 188-195, 2021.

VIEIRA, H. C.; RIOS, P. D. A.; SANTOS, T. M. G. Q. M. D.; CUNHA, A. B. D.; BRAND, M. A.; DANIELLI, D.; FLOREZ, J. B.; STANGE, R.; BUSS, R.; HIGUCHI, P.

Agrupamento e caracterização anatômica da madeira de espécies nativas da Floresta Ombrófila Mista. **Rodriguésia**, v. 70, e04382017, 2019a.

CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES

De maneira geral, foram observadas semelhanças entre as madeiras e os carvões das espécies analisadas, principalmente, ao avaliar visualmente os espectros obtidos nas regiões do visível (para a madeira) e na região do infravermelho próximo (para a madeira e o carvão).

Considerando essa semelhança e objetivando a identificação das espécies, foi necessário utilizar diferentes técnicas quimiométricas. As associações das técnicas quimiométricas com a colorimetria (para a madeira) e a espectroscopia no Infravermelho Próximo (para a madeira e o carvão) apresentaram potencial de utilização para a identificação das espécies, principalmente quando são avaliadas as famílias nativas da Floresta Ombrófila Mista separadamente (Myrtaceae, Fabaceae e Lauraceae).

Deve-se salientar ainda, que cada Família botânica apresentou uma tendência específica. Assim, são necessárias novas pesquisas que objetivem determinar uma análise estatística que seja capaz de apresentar resultados satisfatórios para todas as famílias.

Além disso, seria interessante confirmar o potencial de utilização das técnicas comparando os resultados obtidos com os bancos de dados gerados à partir de amostras provenientes de xilotecas que seriam consideradas amostras padrão na classificação das espécies.

Recomenda-se ainda, que novas pesquisas sejam realizadas utilizando outras espécies para formar um banco de dados ainda mais robusto, que seja representativo para todas as árvores da região remanescente de Floresta Ombrófila Mista. Por fim, são necessárias pesquisas à campo, que forneçam informações práticas sobre o potencial de utilização das técnicas analisadas, em situações onde não há um ambiente controlado.

REFERÊNCIAS GERAIS

- ABRAF. Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012 / **ABRAF**. – Brasília: 2013. 144 p.
- ACQUAH, G. E.; VIA, B. K.; FASINA, O. O.; ECKHARDT, L. G. Non-destructive prediction of the properties of forest biomass for chemical and bioenergy applications using near infrared spectroscopy. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 23, n. 2, p. 93-102, 2015.
- AGUIAR, M. D.; DA SILVA, A. C.; HIGUCHI, P.; NEGRINI, M.; NETO, J. F. Potencial de uso de espécies arbóreas de uma floresta secundária em Lages, Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 11, n. 3, p. 238-247, 2012.
- ALMEIDA, D. S. de. **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**. Editus, 2016. 185 p.
- ATAYDE, C.M.; GONÇALEZ, J.C.; CAMARGOS, J.A.A. Características colorimétricas entre as seções anatômicas da madeira de muirapiranga (*Brosimum* sp.). **Cerne**, v.17, n.2. p.231-235, 2011.
- ATLÂNTICA, SOS Mata. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: Período 2017-2018**. Fundação SOS Mata Atlântica & Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo. 2019. 66 p.
- 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, p. 445-451, 2006.
- BAMBOLIM, A.; WOJCIECHOWSKI, J. C. Composição florística e fitossociológica de um remanescente de floresta ombrófila mista. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 28-35, 2017.
- BARROS, S. V. D. S.; MUNIZ, G. I. B. D.; MATOS, J. L. M. D. 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.
- BONFATTI JÚNIOR, E. A; LENGOWSKI, E. C. Colorimetria aplicada à ciência e tecnologia da madeira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.38, p.10-13 - e201601394, 2018.

BUHELDT, B.; WAGENFÜHR, A. Evaluation of colour differences on wood surfaces. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, n. 1-3, p. 389-391, 2012.

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.

CALLEGARO, R. M.; LONGHI, S. J.; ANDRZEJEWSKI, C. Variações estruturais entre grupos florísticos de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Montana em Nova Prata - RS. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 337-349, 2015.

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.

CANDIAN, M.; SALES, A. Aplicação das técnicas não-destrutivas de ultra-som, vibração transversal e ondas de tensão para avaliação de madeira. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 4, p. 83-97, 2009.

CASTRO, J. P.; PERÍGOLO, D. M.; BIANCHI, M. L.; MORI, F. A.; DE SOUZA FONSECA, A.; ALVES, I. C. N.; DE VASCONCELLOS, F. J. Uso de espécies amazônicas para envelhecimento de bebidas destiladas: análises física e química da madeira. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 319-327, 2015.

COSTA, M. A.; DA COSTA, A. F.; PASTORE, T. C. M.; BRAGA, J. W. B.; GONÇALEZ, J. C. Caracterização do ataque de fungos apodrecedores de madeiras através da colorimetria e da espectroscopia de infravermelho. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 3, p. 567-577, 2011.

CSORDÓS, D.; NÉMETH R.; BAK, M. Variation of colour properties between and within new *Robinia* varieties with enhanced growing rates from different sites. **BioResources**, v. 9, n. 4, p. 7099-7108, 2014.

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.

DELUCIS, R. D. A.; TABORDA, V. C.; CORREA, L. W.; VEJA, R. D. A.; GATTO, D. A. Avaliação da cor dos lenhos juvenil e adulto de cedro por meio do método CIE L* a* b*. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 11, n. 3, p. 251-259, 2014.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. In: **Revista Symposium**. 2008. p. 36-41.

FERREIRA, T. S.; MARCON, A. K.; SALAMI, B.; RECH, C. C. C.; MENDES, A. R.; CARVALHO, A. F.; MISSIO, F. F.; PSCHIEDT, F.; GUIDINI, A. L.; DORNELLES, R. S.; SILVA, A. C.; HIGUCHI, P. Composição florístico-estrutural ao longo de um gradiente de borda em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana em Santa Catarina. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 123-134, 2016.

FILARDI, F. L. R.; BARROS, F. D.; BAUMGRATZ, J. F. A.; BICUDO, C. E.; CAVALCANTI, T. B.; COELHO, M. A. N.; CERQUEIRA, R. M. Brazilian Flora 2020: innovation and collaboration to meet Target 1 of the Global Strategy for Plant Conservation (GSPC). **Rodriguésia**, v. 69, n. 4, p. 1513-1527, 2018.

FOCKINK, G. D.; ZANGALLI, C.; DE OLIVEIRA, E.; KANIESKI, M. R. Espécies prioritárias para restauração da Floresta Ombrófila Mista Montana e Altomontana na Bacia Hidrográfica do rio Canoas. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 1, p. 911-923, 2020.

GARCIA, R. A.; OLIVEIRA, N. S.; NASCIMENTO, A. M.; SOUZA, N. D. Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade. **CERNE**, v. 20, n. 4, p. 509-517, 2014.

GASPER, A. L.; SEVEGNANI, L.; VIBRANS, A. C.; MARCOS SOBRAL, M.; UHLMANN, A.; LINGNER, D. V.; RIGON JÚNIOR, M. J.; VERDI, M.; SANTOS, A. S.; DREVECK S.; KORTE, A. Inventário florístico florestal de Santa Catarina: espécies da Floresta Ombrófila Mista. **Rodriguésia**, v. 64, n. 2, p. 201 - 210, 2013.

GASPER, A. L.; SEVEGNANI, L.; VIBRANS, A. C.; MARCOS SOBRAL, M.; UHLMANN, A.; LINGNER, D. V.; RIGON JÚNIOR, M. J.; VERDI, M.; SANTOS, A. S.; DREVECK S.; KORTE, A. Inventário florístico florestal de Santa Catarina: espécies da Floresta Ombrófila Mista. **Rodriguésia**, v. 64, n. 2, p. 201-210, 2013.

GONÇALEZ, J. C.; JANIN, G.; SANTORO, A. C. S.; COSTA, A. D.; VALLE, A. D. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, v. 20, n. 72, p. 47-58, 2001.

GUIMARÃES, A. L. O desafio de Conservar e Recuperar a Mata Atlântica: Construindo Corredores de Biodiversidade. **Caminhos da Sustentabilidade no Brasil**. São Paulo: Terra das Artes Editions, 2005. 247 p.

HEIN, P. R. G.; PAKKANEN, H.; SANTOS, A. A. D. Challenges in the use of near infrared spectroscopy for improving wood quality: A review. **Forest Systems**, v. 26, n. 3, eR03, 2017.

HERDT, S. T.; MELO JÚNIOR, J. C. F. Anatomia sistemática e ecológica da madeira de *Nectandra* Rol. ex Rottb.(Lauraceae). **Balduinia**, n. 54, p. 11-21, 2016.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; DE OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and Science**, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016.

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, p.251–261, 2015.

HUSTED, S.; KHANNA, V.; CHAMBERS, K.; LANDERS, A. **Method and system using NIR spectroscopy for in-line monitoring and controlling content in continuous production of engineered wood products**. U.S. Patent Application n. 11/384,417, 27 set. 2007.

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, p.156–167, 2016.

IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. **Rio de Janeiro**, n. 1, 2ºed, 2012. 271 p.

KASSAMBARA A; MUNDT F. Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. **R package version 1.0.5**. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>. 2017.

KELLEY, S. S.; RIALS, T. G.; SNELL, R.; GROOM, L. H.; SLUITER, A. Use of near infrared spectroscopy to measure the chemical and mechanical properties of solid wood. **Wood Science and Technology**, v. 38, n. 4, p. 257-276, 2004.

KLEIN, R. M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**, v. 12, n. 12, p. 17-44, 1960.

KOBORI, H.; GORRETTA, N.; RABATEL, G.; BELLON-MAUREL, V.; CHAIX, G.; ROGER, J. M.; TSUCHIKAWA, S. Applicability of Vis-NIR hyperspectral imaging for monitoring wood moisture content (MC). **Holzforschung**, v. 67, n. 3, p. 307-314, 2013.

KRŽIŠNIK, D.; LESAR, B.; THALER, N.; HUMAR, M. Influence of natural and artificial weathering on the colour change of different wood and wood-based materials. **Forests**, v. 9, n. 8, p. 488, 2018.

KUHN, M.; WING, J.; WESTON, S.; WILLIAMS, A.; KEEFER, C.; ENGELHARDT, A.; BENESTY, M. Package 'caret'. **The R Journal**, 2020. 223 p.

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.

LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. **Journal of statistical software**, v. 25, n. 1, p. 1-18, 2008.

LIEBSCH, D.; ACRA, L. A. Riqueza de espécies de sub-bosque de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Tijucas do Sul, PR. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 1, p. 67-76, 2004.

LIMA, C. M.; GONÇALEZ, J. C.; COSTA, T. R. V. D.; PEREIRA, R. S.; LIMA, J. B. M.; LIMA, M. D. S. A. Comportamento da cor de lâminas de madeira de Pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*) tratada com produtos de acabamento. **Revista Árvore**, v. 37, n. 2, p. 377-384, 2013.

MARTINS, D.; RODRIGUES, A. L.; CHAVES, C. L.; MANTOVANI, A.; BORTOLUZZI, R. L. C. Estrutura de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista em Urupema, Santa Catarina, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 11, n. 2, p. 126-137, 2012.

MARTINS, M. F.; BELTRAME, R.; DELUCIS, R. A.; GATTO, D. A.; DE CADEMARTORI, P. H. G.; DOS SANTOS, G. A. Colorimetria como ferramenta de agrupamento de madeira de clones de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 443-449, 2015.

MARTINS, P. J.; MAZON, J. A.; MARTINKOSKI, L.; BENIN, C. C.; WATZLAWICK, L. F. Dinâmica da vegetação arbórea em Floresta Ombrófila Mista Montana antropizada. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. e00097014, 2017.

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

MEINTS, T.; TEISCHINGER, A.; STINGL, R.; HANSMANN, C. Wood colour of central European wood species: CIELAB characterisation and colour intensification. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 75, n. 4, p. 499-509, 2017.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção**. Ministério do Meio Ambiente. Portaria MMA nº 443, 2014.

MONTEIRO, T. C., SILVA, R. V. D., LIMA, J. T., HEIN, P. R. G., NAPOLI, A. Use of near infrared spectroscopy to distinguish carbonization processes and charcoal sources. **Cerne**, v. 16, n. 3, p. 381-390, 2010.

MORI, C. L. S. O.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; TRUGILHO, P. F.; GONCALEZ, J. C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 137-146, 2005.

MORI, C.L.S.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.

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 forest species charcoal. **Wood science and technology**, v. 47, n. 4, p. 815-823, 2013.

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, 2012.

NIEMZ, P.; MANNES, D. Non-destructive testing of wood and wood-based materials. **Journal of Cultural Heritage**, v. 13, n. 3, p. S26-S34, 2012.

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**, 20, 199 – 210. 2018.

NISGOSKI, S.; DE MUNIZ, 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.; DE 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. **Revista Ciência da Madeira**, v. 6, n. 3, p. 183-190, 2015.

NISGOSKI, S.; DE OLIVEIRA, A. A.; DE MUÑIZ, G. I. B. Artificial neural network and SIMCA classification in some wood discrimination based on near-infrared spectra. **Wood Science and Technology**, v. 51, n. 4, p. 929-942, 2017.

NISGOSKI, S.; GONÇALVES, T. A. P.; DE OLIVEIRA, N. M.; BITTENCOURT, S. C.; LIMA, G. S.; DE MUÑIZ, G. I. B. Influence of toposequence position of *Stryphnodendron adstringens* trees on discrimination of samples based on spectroscopy. **Revista Ciência da Madeira**, v. 9, n. 2, p. 112-122, 2018.

- NISGOSKI, S.; KLOCK, U.; BATISTA, F. R. R.; SCHARDOSIN, F. Z., CONSALTER, R.; MOTTA, A. C. V. Use of NIR for trees discrimination in different fertilizations based on wood and bark spectra. **Revista Ciência da Madeira**, v. 7, n. 2, p. 100-110, 2016.
- NISGOSKI, S.; SCHARDOSIN, F. Z.; BATISTA, F. R. R.; DE 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.; VIEIRA, H. C.; GONÇALVES, T. A. P.; AFONSO, C. M.; DE MUÑIZ, G. I. B. Charcoal anatomy and NIR spectra of *Spirostachys africana*, *Terminalia* sp. and *Colophospermum mopane* in different carbonization process. **SN Applied Sciences**, v. 2, p. 1-15, 2020.
- 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.
- OLIVEIRA, W.C.; CALLADO, C.H.; MARQUETE, O. Anatomia do lenho de espécies do gênero *Nectandra* Rol. ex Rottb. (Lauraceae). **Rodriguesia**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 81, p. 125- 134, 2001.
- ONÓRIO, D. F.; SEIXAS, F. A. V. Uso de FT-NIR para a identificação e quantificação de microrganismos em alimentos. **Revista Uningá Review**, v. 3, n. 1, p. 62-70, 2010.
- PACE, J. H. C.; DE FIGUEIREDO LATORRACA, J. V.; HEIN, P. R. G.; DE CARVALHO, A. M.; CASTRO, J. P.; DA SILVA, C. E. S. Wood species identification from Atlantic forest by near infrared spectroscopy. **Forest systems**, v. 28, n. 3, e015, 2019.
- PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives – A review. **Analytica 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.; DE 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, p.73-80, 2011.

PASTORE, T. C.M.; SANTOS, K. O.; RUBIM, J. C. A spectrophotometric study on the effect of ultraviolet irradiation of four tropical hardwoods. **Bioresource technology**, v. 93, n. 1, p. 37-42, 2004.

POKE, F. S.; RAYMOND, C. A. Predicting extractives, lignin, and cellulose contents using near infrared spectroscopy on solid wood *in Eucalyptus globulus*. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v. 26, n. 2, p. 187-199, 2006.

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

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, e008, 2018.

REIS, C. A.; CISNEROS, A. B.; SILVA, E. L.; DE 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.

RIBEIRO, E. S.; GONÇALEZ, J. C.; LIMA, C. M.; RODRIGUES, E. C. C.; PAULA, M. H.; MESQUITA, R. R. S.; QUEIROZ, F. L. C.; LESSES, O. M. G. Colorimetry and anatomical characterization of commercial wood species from the Brazilian Amazon. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 12, n. 2, 15-23, 2018.

RINNAN, A.; BERG, F. V. D.; ENGELSEN, S. B. Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 28, n. 10, p. 1201-1222, 2009.

ROSARIO, F. R.; GROBE, L. S.; RODRIGUES, J. A.; DAL RI, I. M. Mata-Atlântica: economia, igualdade, ideias e preservação. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 755-775, 2020.

ROSS, R. J. Wood handbook: wood as an engineering material. **USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190**, p. 590, 2010.

RUSS, A.; FIRESOVA, M.; GIGAC, J. Preliminary study of wood species identification by NIR spectroscopy. **Wood Research**, v. 54, n. 4, p. 23-32, 2009.

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

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. D. C. O.; VITAL, B. R.; CASTRO, R. V. O.; VIDAURRE, G. B.; TRUGILHO, P. F.; CASTRO, A. F. N. M. Influência das

propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.

SANTOS, S. R. Tendências anatômicas na flora sul-riograndense 2-Parênquima axial. **Balduinia**, n. 65, p. 15-34, 2019.

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.

SECCHI, M. I.; MARIANI, L. F.; KAUFFMANN, M.; OSTERKAMP, I. C.; BAUERMANN, S. G.; JASPER, A. Anatomia do carvão de espécies nativas da região do Vale do Taquari (Bioma Mata Atlântica) – base de dados para estudos arqueobotânicos. **Revista Estudo & Debate**, v. 24, n. 3, p. 29-43, 2017.

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. **Revista Ciência da Madeira**, v. 6, n. 1, p. 31-37, 2015.

SILVA, J. C. A.; SIGNOR, D.; BRITO, A. M. S. S.; CERRI, C. E. P.; CAMARGO, P. B.; PEREIRA, C. F. Espectroscopia no infravermelho próximo e análise de componentes principais para investigação de solos submetidos a diferentes usos da terra na Amazônia Oriental brasileira. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 1, p. 51-62, 2020.

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

SISTON, T. F.; DAS NEVES BRANDES, A. F.; BONA, L.; CRISPIM, G.; VOIGT, A.; BARROS, C. F. Identificação Macroscópica e Microscópica das Madeiras do Parque Nacional do Itatiaia: Chave Interativa Desenvolvida em Software Livre. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, n. 2, p. 178-204, 2020.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Principles of instrumental analysis**. Cengage learning, 2017. 961 p.

SOARES, L.F.; DA 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.

SOCHER, L. G.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F. Biomassa aérea de uma Floresta Ombrófila Mista aluvial no município de Araucária (PR). **Floresta**, v. 38, n. 2, p. 245-252, 2008.

SOTO-MARTÍN, O. Colorimetric measurements as control elements in wood conservation status. **Conservar Patrimônio**, n. 20, p. 75-79, 2014.

SOUSA, W. C. S.; BARBOSA, L. J.; SOARES, A. A. V.; GOULART, S. L.; PROTÁSIO, T. P. Wood colorimetry for the characterization of Amazonian tree species: a subsidy for a more efficient classification. **Cerne**, v. 25, n. 4, p. 451-462, 2019.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática**: Guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. 2ª E.d. Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2008. 704p.

STANGE, R.; VIEIRA, H. C.; RIOS, P. D.; NISGOSKI, S. Wood and charcoal anatomy of four Myrtaceae species. **Cerne**, v. 24, n. 3, p. 190-200, 2018.

STIRLING, R.; TRUNG, T.; BREUIL, C.; BICHO, P. Predicting wood decay and density using NIR spectroscopy. **Wood and Fiber Science**, v. 39, n. 3, p. 414-423, 2007.

TELES, R. F.; COSTA, A. F. Influência do intemperismo acelerado nas propriedades colorimétricas da madeira de Angelim pedra. **Nativa**, v. 2, n. 2, p. 65-70, 2014.

TONINI, H.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. O crescimento da *Nectandra megapotamica* Mez., em floresta nativa na depressão central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, p. 85-90, 2003.

TOSCANO, G.; RINNAN, Å.; PIZZI, A.; MANCINI, M. The use of near-infrared (NIR) spectroscopy and principal component analysis (PCA) to discriminate bark and wood of the most common species of the pellet sector. **Energy & Fuels**, v. 31, n. 3, p. 2814-2821, 2017.

TRENTIN, B. E.; ESTEVAN, D. A.; ROSSETTO, E. F. S.; GORENSTEIN, M. R.; BRIZOLA, G. P.; BECHARA, F. C. Restauração florestal na Mata Atlântica: passiva, nucleação e plantio de alta diversidade. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 160-174, 2018.

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.

TSUCHIKAWA, S.; YAMATO, K.; INOUE, K. Discriminant analysis of wood-based materials using near-infrared spectroscopy. **Journal of Wood Science**, v. 49, n. 3, p. 275-280, 2003.

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.

VIANA, L. C.; TRUGILHO, P. F.; HEIN, P. R. G.; LIMA, J. T.; DA SILVA, J. R. M. Predicting the morphological characteristics and basic density of *Eucalyptus* wood using the NIRS technique. **Cerne**, v. 15, n. 4, p. 421-429, 2009.

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

VIEIRA, H. C.; RIOS, P. D. A.; SANTOS, T. M. G. Q. M. D.; CUNHA, A. B. D.; BRAND, M. A.; DANIELLI, D.; FLOREZ, J. B.; STANGE, R.; BUSS, R.; HIGUCHI, P. Agrupamento e caracterização anatômica da madeira de espécies nativas da Floresta Ombrófila Mista. **Rodriguésia**, v. 70, e04382017, 2019a.

VIEIRA, H. C.; SANTOS, J. X. D.; LOPES DA SILVA, E.; D'ANGELO RIOS, P.; DE MUÑIZ, G. I. B.; RIBEIRO MORRONE, S.; 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**, v. 16, n. 3, p. 188-195, 2021.

WANG, Y.; SHE, S.; ZHOU, N.; ZHANG, J.; YAN, H.; LI, W. Wood Species Identification Using Terahertz Time-domain Spectroscopy. **BioResources**, v. 14, n. 1, p. 1033-1048, 2019.

ZANUNCIO, A. J. V.; FARIAS, E. de S.; SILVEIRA, T. A. da. Termorreificação e colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 1, p. 85-90, 2014.