



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**RELAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DE MADEIRAS
DA CAATINGA E A DURABILIDADE NATURAL EM CAMPO DE
APODRECIMENTO**

Amanda Garcia Mieciniowski

Brasília, Novembro de 2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**RELAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DE MADEIRAS
DA CAATINGA E A DURABILIDADE NATURAL EM CAMPO DE
APODRECIMENTO**

Amanda Garcia Miecinkovski

Orientador: Alexandre Bahia Gontijo – LPF/SFB
Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa

*Trabalho de conclusão de curso submetido ao Departamento de Engenharia
Florestal como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro em Engenharia Florestal*

Banca Examinadora

M.Sc Alexandre Bahia Gontijo – LPF/SFB
Orientador

Dr. Alessandro C. de O. Moreira
Membro da banca

M.Sc Marcelo F. da Silveira
Membro da banca

FICHA CATALOGRÁFICA

MIECINIKOVSSKI, AMANDA GARCIA

RELAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DE MADEIRAS DA CAATINGA E A DURABILIDADE NATURAL EM CAMPO DE APODRECIMENTO [Distrito Federal] 2021.

xvi, 36 p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UnB, Engenheiro, Engenharia Florestal, 2021).

Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal

1. Caatinga

2. Anatomia da madeira

3. Durabilidade natural

4. PCA, LDA

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MIECINIKOVSSKI, A. G. (2021). *RELAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DE MADEIRAS DA CAATINGA E A DURABILIDADE NATURAL EM CAMPO DE APODRECIMENTO* .

Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 36 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Amanda Garcia Miecinkovsski

TÍTULO: RELAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DE MADEIRAS DA CAATINGA E A DURABILIDADE NATURAL EM CAMPO DE APODRECIMENTO .

GRAU: Engenheiro em Engenharia Florestal ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Amanda Garcia Miecinkovsski

Depto. de Engenharia Florestal (EFL) - FT

Universidade de Brasília (UnB)

Campus Darcy Ribeiro

CEP 70919-970 - Brasília - DF - Brasil

Dedicatória

Dedico esse trabalho a minha mãe, Marcilene Garcia de Souza. Uma mulher gentil, doce, humilde e fervorosa que sempre amou a todos os filhos e os incentivou, me incentivou desde cedo a estudar, a sempre erguer a cabeça sem vergonha alguma das circunstâncias da vida e a nunca desistir. Agora, cá estou eu finalizando um ciclo com muito orgulho das minhas escolhas e podendo compartilhar esse momento com ela, minha mãe!

Amanda Garcia Miecinkovski

Agradecimentos

Agradeço primeiramente ao Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa, meu coorientador, que cativou em mim a curiosidade e paixão pela Engenharia Florestal desde a disciplina de Iniciação a Engenharia Florestal e posteriormente em Secagem e Preservação de Madeiras. Por ter aceitado com muito esmero e empolgação pesquisar comigo um tema incipiente e que rendeu tantas conversas.

Ao meu orientador M.Sc Alexandre Bahia Gontijo, pela dedicação e comprometimento com a ciência e o método científico durante nossas pesquisas de PIBIC e TCC, pela atenção cedida a mim mesmo com os desafios encontrados no caminho como pai de primeira viagem e ainda pelas conversas de mineiros.

Ao meu guia pela análise multivariada Dr. Alessandro C. de O. Moreira, a Elisa P. de Souza, ao M.Sc Marcelo F. da Silveira e ao Dr. Fernando N. Gouveia que me acolheram no LPF/SFB com paciência e empolgação e assim possibilitaram a execução deste trabalho.

Ao meu namorado e amigo Vitor Satoru Machi Matsumine pela companhia, carinho e apoio ao longo desses anos. Aos meus amigos Maryana, Cassiano, Nathálya, Letícia, Débora, Leonardo, Greicielle e Matheus por todos os risos, lágrimas, abraços, desa-bafos, histórias para contar e o mais importante: pela perspectiva de um futuro melhor dando o nosso máximo no momento presente.

À Casa do Estudante Universitário de Graduação - CEU/UNB por ter sido minha casa ao longo do curso, um espaço de autoconhecimento e de vivências trocadas. Um espaço por vezes difícil mas que eu nunca esquecerei e guardarei em meu coração os meus anos de ceulina.

Por fim, à Universidade de Brasília pelas oportunidades oferecidas, pela realização de um sonho, pelo orgulho proporcionado a minha mãe e pelos ensinamentos e respeito a ciência o meu muito obrigada!

Amanda Garcia Mieciniokovski

RESUMO

O bioma Caatinga se destaca pela significativa área de abrangência regional e o comprovado potencial de oferta de madeira, entretanto a maior parte das espécies madeireiras é direcionada para lenha/carvão, perdendo assim as propriedades tecnológicas que as madeiras deste bioma podem oferecer. Nesse sentido, o presente trabalho avaliou a relação entre as características anatômicas da madeira e a sua durabilidade natural em campo de apodrecimento a partir de 5 espécies da Caatinga, sendo elas: *Combretum glaucocarpum*, *Handroanthus impetiginosus*, *Pterodon abruptus*, *Swartzia pylonema* e *Terminalia fagifolia*. O levantamento bibliográfico da caracterização para cada espécie constou de 3 indivíduos dos quais foram feitas 10 repetições cada, conforme o recomendado pelas normas técnicas da IAWA (1989), tendo sido adotada a metodologia descrita em Seabra (2018). A durabilidade natural em anos foi obtida a partir do campo de apodrecimento de madeiras instalado pelo LPF na Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Foi aplicada a estatística multivariada Análise dos Componentes Principais - PCA (do inglês, *Principal Component Analysis*) e Análise Discriminante Linear - LDA (do inglês, *Linear Discriminant Analysis*). A PCA explicou 47,2% da variação total das espécies em relação as características anatômicas. A característica anatômica vasos/mm² influenciou no agrupamento das espécies duráveis *Handroanthus impetiginosus* e *Pterodon abruptus*. Já o comprimento de fibra e de vaso e raios/mm tendeu a separar a *Swartzia pylonema* (moderadamente durável) das demais espécies. A matriz de confusão da ADL classificou corretamente 93% das espécies. Tanto a PCA quanto a LDA indicaram tendências e não um resultado sólido. Este trabalho indicou uma possível metodologia, cuja finalidade é aumentar o conhecimento a respeito das distintas propriedades da madeira, valorar e otimizar o uso desse recurso bem como contribuir para preservação do bioma Caatinga.

Palavras-chave: Caatinga, madeira, anatomia, durabilidade natural, PCA, LDA.

ABSTRACT

The Caatinga biome stands out for its significant area of regional coverage and the proven potential for wood supply, however most wood species are directed to firewood/charcoal, thus losing the technological properties that the wood of this biome can offer. The goal of this work is to verify the existence of a correlation between the anatomical characteristics of wood and its natural durability in decay field from 5 species of the Caatinga, namely: *Combretum glaucocarpum*, *Handroanthus impetiginosus*, *Pterodon abruptus*, *Swartzia psilonema* and *Terminalia fagifolia*. The bibliographic survey of the characterization for each species consisted of 3 individuals of which 10 repetitions were performed for each, as recommended by the technical standards of IAWA (1989). All samples followed the same methodology described in Seabra (2018). The natural durability in years was obtained from the wood rotting field installed by LPF at the Federal University of Rio Grande do Norte – UFRN. The Principal Component Analysis - PCA and Linear Discriminant Analysis - LDA multivariate statistics were applied. PCA explained 47.2% of the total variation of species in relation to anatomical characteristics. The anatomical characteristic vessels/mm² influenced the grouping of the durable species *Handroanthus impetiginosus* and *Pterodon abruptus*. The fiber and vessel length and ray/mm tended to separate *Swartzia psilonema* (moderately durable) from other species. The LDA Confusion Matrix correctly classified 93% of the species. Both the PCA and LDA indicated trends rather than a solid result. This work indicated a possible methodology, subject to improvement, whose intention is to increase the knowledge about different properties of wood, to value and optimize the use of this resource, as well as to contribute to the preservation of the Caatinga biome.

Key-words: Caatinga, wood, anatomy, nature durability, PCA, LDA.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	HIPÓTESE	2
3	OBJETIVO	2
3.1	OBJETIVO GERAL	2
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
4.1	BIOMA CAATINGA	3
4.2	ANATOMIA DA MADEIRA	4
4.2.1	CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DAS ESPÉCIES ESTUDADAS DA CAATINGA	4
4.2.1.1	<i>Combretum glaucocarpum</i> Mart.	5
4.2.1.2	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	6
4.2.1.3	<i>Pterodon abruptus</i> (Moric.) Benth.	8
4.2.1.4	<i>Swartzia psilonema</i> Harms	9
4.2.1.5	<i>Terminalia fagifolia</i> Mart.	11
4.3	DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA A ORGANISMOS XILÓFAGOS	12
4.3.1	FUNGOS DE PODRIDÃO BRANCA	13
4.3.2	FUNGOS DE PODRIDÃO PARDA	14
4.3.3	CAMPOS DE APODRECIMENTO DE MADEIRAS	15
4.4	ANÁLISE MULTIVARIADA (PCA E LDA)	15
5	MATERIAIS E MÉTODOS	17
5.1	CONDUÇÃO DO TRABALHO	17
5.2	DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA	17
5.3	CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA	18
5.4	TRATAMENTO DOS DADOS PARA ANÁLISE MULTIVARIADA	19
6	RESULTADOS	20
7	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	26
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
	ANEXOS	32

LISTA DE FIGURAS

4.1	Mapa da abrangência do bioma Caatinga. (Fonte: Laboratório de Geoprocessamento Embrapa Semiárido, 2010)	3
4.2	Seção transversal da espécie <i>Combretum glaucocarpum</i> Mart. (Fonte: Gustavo Barros Rocha, 2018.)	5
4.3	Imagem macroscópica da espécie <i>Combretum glaucocarpum</i> Mart. (Fonte: Anatomia e Morfologia-LPF)	5
4.4	Seção transversal da espécie <i>Handroanthus impetiginosus</i> Mart. (Fonte: Gustavo Barros Rocha, 2018.)	6
4.5	Imagem macroscópica da espécie <i>Handroanthus impetiginosus</i> Mart. (Fonte: Anatomia e Morfologia - LPF.)	6
4.6	Seção transversal da espécie <i>Pterodon abruptus</i> (Moric.) Benth. (Fonte: Gustavo Barros Rocha, 2018.)	8
4.7	Imagem macroscópica da espécie <i>Pterodon abruptus</i> (Moric.) Benth. (Fonte: Anatomia e Morfologia-LPF)	8
4.8	Seção transversal da espécie <i>Swartzia psilonema</i> Harms. (Fonte: Gustavo Barros Rocha, 2018.)	9
4.9	Imagem macroscópica da espécie <i>Swartzia psilonema</i> Harms. (Fonte: Anatomia e Morfologia-LPF)	10
4.10	Seção transversal da espécie <i>Terminalia fagifolia</i> Mart. (Fonte: Gustavo Barros Rocha, 2018.)	11
4.11	Imagem macroscópica da espécie <i>Terminalia fagifolia</i> Mart. (Fonte: Anatomia e Morfologia-LPF)	11
4.12	Madeira atacada por fungo de podridão branca, sendo o lado B a madeira atacada e o lado A a madeira sadia. (Fonte: MORESCHI, 2013.)	14
4.13	Madeira atacada por fungo de podridão parda. (Fonte: MORESCHI, 2013.)	14
4.14	Comparação entre madeira atacada por fungo de podridão branca (A) e por fungo de podridão parda (B). (Fonte: ALCÂNTARA, 2015).	15
6.1	Gráfico de <i>Scores</i> e <i>Loadings</i> , onde a espécie <i>Combretum glaucocarpum</i> está em preto (estrela), <i>Handroanthus impetiginosus</i> em roxo (losango), <i>Pterodon abruptus</i> em amarelo (quadrado), <i>Swartzia psilonema</i> em vermelho (triângulo) e <i>Terminalia fagifolia</i> em azul (ponto).	20
6.2	Gráfico de <i>Scores</i> e <i>Loadings</i> considerando a dispersão por grupo de durabilidade natural, onde a espécie <i>Combretum glaucocarpum</i> está em preto (estrela), <i>Handroanthus impetiginosus</i> em roxo (losango), <i>Pterodon abruptus</i> em amarelo (quadrado), <i>Swartzia psilonema</i> em vermelho (triângulo) e <i>Terminalia fagifolia</i> em azul (ponto).	21

6.3	Gráfico de <i>Scores</i> e <i>Loadings</i> considerando a dispersão por grupo de espécies, onde a espécie <i>Combretum glaucocarpum</i> está em preto (estrela), <i>Handroanthus impetiginosus</i> em roxo (losango), <i>Pterodon abruptus</i> em amarelo (quadrado), <i>Swartzia psilonema</i> em vermelho (triângulo) e <i>Terminalia fagifolia</i> em azul (ponto).	21
6.4	Gráfico de <i>Scores</i> e <i>Loadings</i> considerando a dispersão por grupo de espécies nas CP's 1 e 3, onde a espécie <i>Combretum glaucocarpum</i> está em preto (estrela), <i>Handroanthus impetiginosus</i> em roxo (losango), <i>Pterodon abruptus</i> em amarelo (quadrado), <i>Swartzia psilonema</i> em vermelho (triângulo) e <i>Terminalia fagifolia</i> em azul (ponto).....	22
6.5	Gráfico do agrupamento das espécies submetida a uma elipse de 95% de confiança da ADL, onde a espécie <i>Combretum glaucocarpum</i> está em preto (estrela), <i>Handroanthus impetiginosus</i> em roxo (losango), <i>Pterodon abruptus</i> em amarelo (quadrado), <i>Swartzia psilonema</i> em vermelho (triângulo) e <i>Terminalia fagifolia</i> em azul (ponto).....	24
6.6	Gráfico do agrupamento das espécies por classe de durabilidade natural submetida a uma elipse de 95% de confiança da ADL, onde a espécie <i>Combretum glaucocarpum</i> está em preto (estrela), <i>Handroanthus impetiginosus</i> em roxo (losango), <i>Pterodon abruptus</i> em amarelo (quadrado), <i>Swartzia psilonema</i> em vermelho (triângulo) e <i>Terminalia fagifolia</i> em azul (ponto).	24
1	Foto microscópica de referência para a espécie <i>Combretum glaucocarpum</i> Mart. (Fonte: Anatomia e Morfologia - LPF)	32
2	Foto microscópica de referência para a espécie <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Fonte: Anatomia e Morfologia - LPF).....	33
3	Foto microscópica de referência para a espécie <i>Pterodon abruptus</i> (Moric.) Benth. (Fonte: Anatomia e Morfologia - LPF)	34
4	Foto microscópica de referência para a espécie <i>Swartzia psilonema</i> Harms. (Fonte: Anatomia e Morfologia - LPF).....	35
5	Foto microscópica de referência para a espécie <i>Terminalia fagifolia</i> Mart. (Fonte: Anatomia e Morfologia - LPF).....	36

LISTA DE TABELAS

5.1	Espécies florestais estudadas e suas respectivas durabilidades naturais em anos.	17
5.2	Classes de durabilidade natural de acordo com a vida útil em anos. Fonte: Jesus et al. (1998)	18
5.3	Relação das amostras utilizadas para cada espécie.	19
6.1	Valores quantitativos médios, máximos e mínimos das características anatômicas para as espécies <i>Swartzia pylonema</i> e <i>Terminalia fagifolia</i>	23
6.2	Matriz de confusão gerada pela ADL para as amostras por grupo de espécies.	25
6.3	Matriz de confusão gerada pela ADL para as amostras por classe de durabilidade. .	25

LISTA DE SIGLAS

Siglas

ADL	Análise Discriminante Linear
CP	Componente Principal
FDL	Diâmetro do Lúmen da Fibra
FL	<i>Fiber Length</i> (Comprimento da Fibra)
FTD	Diâmetro Total da Fibra
FWT	<i>Fiber Wall Thickness</i> (Espessura da Parede da Fibra)
g/cm ³	Gramas por Centímetro Cúbico
IAWA	<i>International Association of Wood Anatomists</i> (Associação Internacional de Anatomistas de Madeira)
IPV	<i>Intervessel pits</i> (Pontuações Intervasculares)
LPF	Laboratório de Produtos Florestais
mm	Milímetros
mm ²	Milímetros quadrados
µm	Micrômetros
PCA	Análise do Componente Principal
RH	<i>Ray Height</i> (Altura do Raio)
RW	<i>Ray Width</i> (Largura do Raio)
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
VD	<i>Vessel Diameter</i> (Diâmetro Tangencial do Vaso)
VL	<i>Vessel Length</i> (Comprimento do Vaso)
VPR	<i>Radio-Vessel pits</i> (Pontuações Radiovasculares)

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma ampla diversidade e quantidade de recursos florestais, dentre eles, destaca-se a madeira, sendo considerado o material orgânico mais utilizado nas indústrias de painéis, móveis, papel, celulose e energia, além de contribuir na confecção de instrumentos musicais e na construção civil (BATISTA, 2020). Martins e Martins (2021) e Bukhard et al. (2012) trazem que o suprimento de madeira e produtos não madeireiros dependem das condições biofísicas da floresta e das alterações de origem antrópicas impostas a estrutura florestal como desmatamento e queimadas.

O bioma brasileiro da Caatinga se destaca pela significativa área de abrangência regional e o comprovado potencial de oferta de madeira. Essa oferta é direcionada principalmente para uso como lenha e/ou carvão, mas há também grande potencial para fornecimento de insumos para outros segmentos que utilizam madeiras, podendo agregar valor a esta matéria prima (BRASIL, 2008; SEABRA, 2018). Sendo assim, para que as espécies sejam utilizadas em todo o seu potencial e que possam ingressar no mercado madeireiro nobre e até diminuir a pressão sobre as espécies amazônicas e à outras espécies superexploradas, é de suma importância o conhecimento das características tecnológicas da madeira de espécies da Caatinga.

A caracterização anatômica é uma das primeiras abordagens ao indivíduo florestal, a partir da qual se faz possível conhecer a filogenia, indicar sobre propriedades tecnológicas como resistência mecânica, trabalhabilidade e durabilidade natural da espécie a organismos xilófagos. Podendo ainda indicar potenciais usos, otimização da madeira em serviço e maior rentabilidade a partir da valoração econômica das espécies além de auxiliar na atuação de órgãos responsáveis pela fiscalização ambiental.

Outro fator de extrema relevância sobre a madeira é a sua durabilidade natural, sendo este um reflexo da resistência a ação de agentes biológicos, físicos e químicos. Os agentes biológicos decompõem a madeira para utilizar os seus constituintes como fonte de energia, bem como para abrigo, já os agentes físicos e químicos atuam em conjunto com os primeiros, acelerando o processo de deterioração. Destes agentes, os biológicos são os de maior importância, principalmente os fungos apodrecedores, responsáveis pela maior proporção de danos causados à madeira (MORESCHI, 2013; VIVIAN et al. 2015).

A elevada densidade da madeira e a composição de metabólitos secundários presentes nas espécies da Caatinga conferem a elas uma resistência natural a organismos xilófagos, principalmente fungos apodrecedores de madeira (ALMEIDA, 2012; DA SILVEIRA, 2018). Sendo assim, o estudo de outros possíveis indicadores da durabilidade natural da madeira se faz importante, pois quanto maior a quantidade de informações a respeito do comportamento da madeira e como sua durabilidade natural é influenciada, mais inteligente será o uso da madeira.

2 HIPÓTESE

Uma ou mais características anatômicas com conformações similares podem predizer sobre o comportamento da durabilidade natural da madeira exposta em campo de apodrecimento.

3 OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente trabalho foi verificar a existência de correlação entre as características anatômicas da madeira e a sua durabilidade natural em campo de apodrecimento a partir de 5 espécies da Caatinga, sendo elas: *Combretum glaucocarpum* Mart. (Sipaúba), *Handroanthus impetiginosus* (Pau d'arco roxo), *Pterodon abruptus* (Moric.) Benth. (Pau Amarelo), *Swartzia psilonema* Harms (Jacarandá-sangue) e *Terminalia fagifolia* Mart. (Chapada).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Inferir quais características anatômicas apresentam relação positiva e/ou negativa com a durabilidade natural de madeiras da Caatinga expostas em campo de apodrecimento;
- Verificar a possibilidade de indicar previamente a classe de durabilidade natural da espécie a partir de características anatômicas pontuais.
- Corroborar para o ganho de informações e valoração das madeiras da Caatinga visando designar usos mais sustentáveis e economicamente viáveis às espécies estudadas.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 BIOMA CAATINGA

O bioma Caatinga possui domínio de aproximadamente 10% do território nacional, cobrindo os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, sul e leste do Piauí, Alagoas, Sergipe, Bahia e norte de Minas Gerais. Caracteriza-se como bioma de clima semiárido, solo relativamente fértil apesar da estrutura rasa e pedregosa e consta ainda de uma alta diversidade genética de fauna e flora (WWF, 2021). É considerado o único bioma endêmico do país e encontra-se predominantemente no semiárido nordestino. Apresenta períodos de seca prolongados, altas taxas de evapotranspiração e solos com baixa taxa de retenção de água (SILVA, 2018; MENDES e CASTRO, 2010).

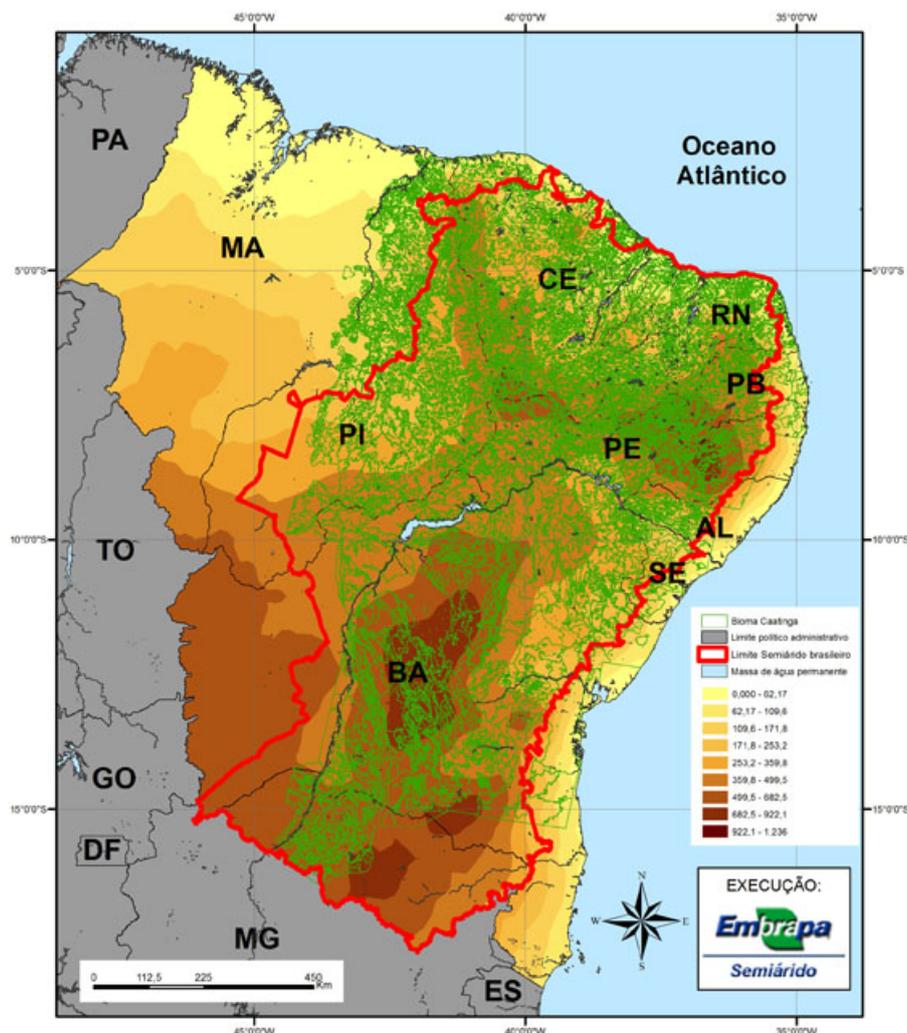


Figura 4.1: Mapa da abrangência do bioma Caatinga. (Fonte: Laboratório de Geoprocessamento Embrapa Semiárido, 2010)

Tais condições de clima e solo por vezes são um empecilho para o cultivo de espécies florestais madeireiras convencionais, porém o bioma oferece uma gama de espécies que em sua maioria são desvalorizadas. Segundo Chaves (2016) a Caatinga vem sendo desmatada de forma acelerada e desordenada, principalmente devido ao consumo exploratório, insustentável e ilegal de madeira nativa e majoritariamente destinada a carvoaria. Considerando as áreas de pastagem e agricultura o desmatamento chega a 46%.

Seabra (2018) e Brasil (2008) colocam que o cenário descrito acima pode ser revertido por meio da ampliação das ações de manejo sustentável da vegetação nativa devido à presença de grande diversidade de espécies florestais, inclusive endêmicas, possibilitando o uso alternativo da madeira para outros fins mais rentáveis como a construção civil, indústria moveleira, cutelaria e manufatura de pequenos objetos.

4.2 ANATOMIA DA MADEIRA

A anatomia (do grego “anatomé”: incisão, dissecação, com o sufixo latino — ia) da madeira é um ramo da ciência botânica que se ocupa do estudo dos diversos tipos de células que constituem o xilema secundário, suas funções, organização, peculiaridades estruturais e relações com a atividade biológica do vegetal (BURGER, RICHTER 1991; ZIDANES, 2017).

De acordo com Coradin (2002) a caracterização anatômica pode ser subdividida em dois níveis: análise macroscópica e microscópica. A caracterização macroscópica se dá através da análise da madeira ou um corpo de prova orientado nos planos transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, observando os elementos vasculares, células do parênquima axial e células do parênquima radial e fibras, com o auxílio de uma lupa de mão. Já a caracterização microscópica, por sua vez, necessita do uso de microscópios com aumentos de dez a cem vezes para observar a madeira, com lâminas também orientada nos planos e analisando as mesmas estruturas mencionadas anteriormente, fornecendo então, detalhes mais específicos das características anatômicas, ou seja, sendo possibilitando visualizar a individualização das células vegetais.

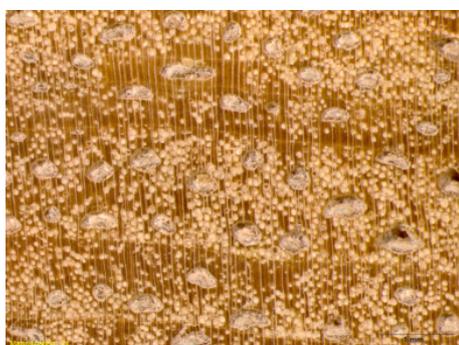
4.2.1 Caracterização anatômica das espécies estudadas da Caatinga

A caracterização anatômica das espécies estudadas a seguir no presente trabalho foi consultada no trabalho de Seabra (2018) em parceria com o Laboratório de Produtos Florestais – LPF/SFB/-MAPA de acordo com as normas vigentes desde 1989 da Internacional Association of Wood Anatomists – IAWA.

4.2.1.1 *Combretum glaucocarpum* Mart.



Figura 4.2: Seção transversal da espécie *Combretum glaucocarpum* Mart. (Fonte: Gustavo Barros Rocha, 2018.)



(a) Seção transversal em aumento de 20x, escala = 1mm.



(b) Seção tangencial em aumento de 20x, escala = 1mm.

Figura 4.3: Imagem macroscópica da espécie *Combretum glaucocarpum* Mart. (Fonte: Anatomia e Morfologia-LPF)

A espécie *Combretum glaucocarpum* Mart. mais conhecida como Sipaúba é uma árvore arbustiva pertencente à família Combretaceae, considerada a planta nefrotóxica mais importante do Brasil. É observada na Caatinga, no litoral do Nordeste, principalmente nos Estados do Piauí e do Ceará, no oeste da Bahia e na região oeste de Minas Gerais (HELAYEL et al. 2017; TOKARNIA et al. 2012).

• CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS MACROSCÓPICAS

POROS: presentes; com diâmetro pequeno ($< 100 \mu\text{m}$); porosidade difusa; numeroso (> 20 vasos/ mm^2); agrupamento predominantemente solitário ($> 90\%$); disposição independente de agrupamento sem padrão definido; com forma na seção transversal de contorno circular ou oval; maioria obstruídos ($> 60\%$); obstruídos por substância de cor esbranquiçada, geralmente gomas e resinas. **PARÊNQUIMA AXIAL:** invisível, mesmo com aumento de 10x. **RAIOS:** invisível na superfície tangencial e transversal; não contrastados ou pouco contrastados na superfície radial; finos (menor que 100 micrometros de largura). **ESTRUTURAS ESTRATIFICADAS:** ausente. **ESTRUTURAS SECRETORAS:** canais intercelulares não

observados. VARIANTES CAMBIAIS: floema incluso difuso (SEABRA, 2018).

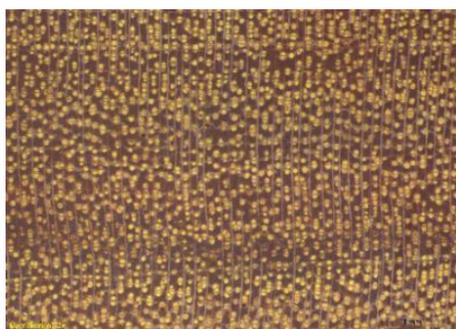
- **CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS MICROSCÓPICAS**

Possui camadas de crescimento bem definidas demarcadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente. Possui porosidade difusa sem arranjo, com uma média de 99,94% de vasos solitários, com presença de vasos exclusivamente solitários. Possui placas de perfuração simples, pontuações intervasculares alternas/circulares, guarnecidas e pontuações raiovasculares semelhantes as intervasculares. Possui fibras com pontuações simples ou com aréolas muito pequenas, gelatinosas. Presença de inclusões orgânicas. Parênquima apotraqueal difuso, paratraqueal escasso, vasicêntrico. Raios exclusivamente unisseriados com corpo do raio procumbentes com uma fileira marginal de células eretas e/ou quadradas. Possui célula perfurada de raio presença de cristais em forma de drusa (SEABRA, 2018).

4.2.1.2 *Handroanthus impetiginosus*



Figura 4.4: Seção transversal da espécie *Handroanthus impetiginosus* Mart. (Fonte: Gustavo Barros Rocha, 2018.)



(a) Seção transversal em aumento de 20x, escala = 1mm.



(b) Seção tangencial em aumento de 20x, escala = 1mm.

Figura 4.5: Imagem macroscópica da espécie *Handroanthus impetiginosus* Mart. (Fonte: Anatomia e Morfologia - LPF.)

Conhecida popularmente por ipê-rosa, ipê una, piúva-da-mata, pau d'arco roxo, entre outros, o *Handroanthus impetiginosus* é uma arbórea pertencente à família Bignoniaceae considerada secundária tardia a clímax, tendo sua distribuição geográfica entre as regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil (MATOS et al. 2017). A espécie pode vir a ser considerada como duas espécies distintas por mateiros e demais pessoas, o pau d'arco roxo que ocorre próximo a cursos de água apresenta coloração roxa na casca recém cortada, já o pau d'arco amarelo que ocorre em regiões mais secas apresenta coloração amarelada na casca recém cortada, entretanto ambos apresentam floração roxa e tratam-se da mesma espécie (Informação verbal)¹

- **CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS MACROSCÓPICAS**

POROS: presentes; diâmetro pequeno (menores que 100 micrômetros); porosidade difusa; numeroso (acima de 20 vasos/mm²); agrupamento em proporções variáveis de vasos solitários e múltiplos; em grupos radiais curtos (de 2 a 4 vasos); disposição independente de agrupamento sem padrão definido; com forma na seção transversal de contorno circular ou oval; maioria obstruídos (mais que 60%); obstruídos por substância de cor amarelada. **PARÊNQUIMA AXIAL:** visível; do tipo paratraqueal e em faixas; paratraqueal do tipo aliforme curto, confluyente em trechos oblíquos e em trechos longos tendendo a formar faixas; em faixas marginais ou simulando faixas marginais. **RAIOS:** invisível na superfície tangencial e transversal; não contrastados ou pouco contrastados na superfície radial; finos (menor que 100 micrômetros de largura); menores que 1mm de altura; pouco frequente (de 5 a 10 raios por mm). **ESTRUTURAS ESTRATIFICADAS:** presentes; regulares (horizontal e ligeiramente inclinada); com 5 listras por mm axial. **ESTRUTURAS SECRETORAS:** canais intercelulares não observados. **VARIANTES CAMBIAIS:** não observadas (SEABRA, 2018)

- **CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS MICROSCÓPICAS**

Possui camadas de crescimento bem definidas demarcadas por faixas/linhas marginais de parênquima axial. Possui porosidade difusa sem arranjo, com uma média de 70,07% de vasos solitários, com presença de vasos solitários e múltiplos. Possui placas de perfuração simples, pontoações intervasculares alternas/circulares e pontoações raio-vasculares com aréolas reduzidas a aparentemente simples - arredondadas e angulares. Possui fibras com pontoações simples ou com aréolas muito pequenas, com paredes muito espessas. Parênquima apotraqueal difuso e formando linhas descontínuas, formando linhas contínuas, formando faixas. Parênquima paratraqueal escasso, vasicêntrico, aliforme, confluyente, unilaterial, em faixas de mais de 3 células de largura, em linhas, em faixas marginais, 2 células de largura. Raios de 1-3 células de largura. Parênquima axial estratificado, raios estratificados e presença de cristais (SEABRA, 2018).

¹Informação fornecida pelo guia de campo local que trabalhou com a equipe de coleta do LPF.

4.2.1.3 *Pterodon abruptus* (Morici.) Benth.



Figura 4.6: Seção transversal da espécie *Pterodon abruptus* (Morici.) Benth. (Fonte: Gustavo Barros Rocha, 2018.)



(a) Seção transversal em aumento de 20x, escala = 1mm.



(b) Seção tangencial em aumento de 20x, escala = 1mm.

Figura 4.7: Imagem macroscópica da espécie *Pterodon abruptus* (Morici.) Benth. (Fonte: Anatomia e Morfologia-LPF)

O gênero *Pterodon* tem registro de ocorrência nos estados de Rondônia, Tocantins, Bahia, Ceará, Maranhão, Piauí, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo, sendo encontrado nos biomas Amazônico, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal (LIMA et al. 2015). De acordo com Santiago (2017) somente as espécies *P. abruptus* e *P. emarginatus* são aceitas em todas as bases de dados tendo em vista a divergência de taxonomia entre outras espécies desse gênero.

• CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS MACROSCÓPICAS

POROS: presentes; diâmetro pequeno (menores que 100 micrômetros); porosidade difusa; numeroso (acima de 20 vasos/mm²); agrupamento em proporções variáveis de vasos solitários e múltiplos; em grupos radiais curtos (de 2 a 4 vasos) e longos (de mais de 4 vasos); disposição independente de agrupamento sem padrão definido; com forma na seção transversal de contorno circular ou oval; maioria obstruídos (mais que 60%); obstruídos por substância de cor esbranquiçada, enegrecida (cerne) e por tilos. **PARÊNQUIMA AXIAL:**

visível; do tipo paratraqueal e em faixas; paratraqueal do tipo escasso, aliforme curto, confluyente em trechos curtos oblíquos; RAIOS: visível na superfície tangencial e transversal; não contrastados ou pouco contrastados na superfície radial; finos (menor que 100 micrômetros de largura); menores que 1mm de altura; muito frequentes (mais de 10 raios por mm). ESTRUTURAS ESTRATIFICADAS: presentes; regulares (horizontal e ligeiramente inclinada); com 4 listras por mm axial. ESTRUTURAS SECRETORAS: canais intercelulares não observados. VARIANTES CAMBIAIS: não observadas (SEABRA, 2018).

- **CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS MICROSCÓPICAS**

Possui camadas de crescimento mal definidas demarcadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente. Possui porosidade difusa em arranjo radial, com uma média de 53,86% de vasos solitários, com presença de vasos solitários e múltiplos. Possui placas de perfuração simples, pontoações intervasculares alternas/circulares, guarnecidas e pontoações raiovascular semelhante às intervasculares. Possui inclusões orgânicas e fibras com pontoações simples ou com aréolas muito pequenas, com paredes muito espessas. Parênquima paratraqueal escasso, confluyente. Raios exclusivamente unisseriados com todas as células do raio procumbentes. Possui raios estratificados e presença de cristais em células subdivididas do parênquima axial (SEABRA, 2018).

4.2.1.4 *Swartzia psilonema* Harms



Figura 4.8: Seção transversal da espécie *Swartzia psilonema* Harms. (Fonte: Gustavo Barros Rocha, 2018.)



(a) Seção transversal em aumento de 20x, escala = 1mm.



(b) Seção tangencial em aumento de 20x, escala = 1mm.

Figura 4.9: Imagem macroscópica da espécie *Swartzia psilonema* Harms. (Fonte: Anatomia e Morfologia-LPF)

As espécies do gênero *Swartzia* são descritas, de modo geral, como árvores de médio a grande porte, com algumas exceções de arbustos, variando em torno de 3 a 30 m de comprimento, crescem em áreas não inundadas, vegetação ciliar e cerrado, alburno com coloração variando de amarelo-claro a branco e cerne com tons de castanho a marrom ou até mesmo preto. Considerando o gênero *Swartzia*, a espécie *Swartzia psilonema* tem recebido certa atenção em virtude de algumas de suas características fenotípicas que a torna atrativa em termos de produção madeireira (SILVA, 2018). Suas características assemelham-se às de madeiras nobres como o *Brazilian rosewood*, jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra*) e o ébano (*Diospyros spp.*). Essas madeiras nobres constituem matéria-prima para fabricação de móveis, pisos, itens decorativos, esculturas, entre outras (SILVA, 2018; ANGYALOSSY-ALFONSO & MILLER, 2002).

- CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS MACROSCÓPICAS

POROS: presentes; diâmetro pequeno (menores que 100 micrômetros); porosidade difusa; numeroso (acima de 20 vasos/mm²); 21 agrupamento em proporções variáveis de vasos solitários e múltiplos; em grupos radiais curtos (de 2 a 4 vasos) e longos (de mais de 4 vasos); disposição independente de agrupamento sem padrão definido; com forma na seção transversal de contorno circular ou oval; maioria obstruídos (mais que 60%); obstruídos por substância de cor esbranquiçada e por tilos. **PARÊNQUIMA AXIAL:** visível; do tipo paratraqueal e em faixas; paratraqueal do tipo aliforme curto, longo e confluyente em trechos curtos oblíquos e longos tendendo a formar faixas; em faixas do tipo estreitas ou em linhas. **RAIOS:** visível na superfície tangencial e transversal; não contrastados ou pouco contrastados na superfície radial; finos (menor que 100 micrômetros de largura); menores que 1mm de altura; muito frequentes (mais de 10 raios por mm). **ESTRUTURAS ESTRATIFICADAS:** presentes; regulares (horizontal e ligeiramente inclinada); com 5 listras por mm axial. **ESTRUTURAS SECRETORAS:** canais intercelulares não observados. **VARIANTES CAMBIAIS:** não observadas (SEABRA, 2018).

- CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS MICROSCÓPICAS

Possui camadas de crescimento bem definidas demarcadas por fibras do lenho tardio de

paredes espessas e achatadas radialmente e por faixas/linhas marginais de parênquima axial. Possui porosidade difusa sem arranjo, com uma média de 63,13% de vasos solitários, com presença de vasos solitários e múltiplos. Possui placas de perfuração simples, pontuações intervasculares alternas/circulares, guarnecidas e pontuações raio-vasculares semelhantes às intervasculares e com aréolas reduzidas e aparentemente simples- arredondadas e angulares. Possui inclusões orgânicas e fibras com pontuações simples ou com aréolas muito pequenas, com paredes muito espessas. Parênquima paratraqueal escasso, aliforme, confluyente, em faixas, em linhas, em faixas marginais, 2 células de largura e 3-4 células de largura. Todas as células do raio procumbentes, apresentando também eretas e quadradas. Raios estratificados e presença de cristais em células subdivididas do parênquima axial (SEABRA, 2018).

4.2.1.5 *Terminalia fagifolia* Mart.



Figura 4.10: Seção transversal da espécie *Terminalia fagifolia* Mart. (Fonte: Gustavo Barros Rocha, 2018.)



(a) Seção transversal em aumento de 20x, escala = 1mm.



(b) Seção tangencial em aumento de 20x, escala = 1mm.

Figura 4.11: Imagem macroscópica da espécie *Terminalia fagifolia* Mart. (Fonte: Anatomia e Morfologia-LPF)

A espécie *Terminalia fagifolia* Mart. conhecida popularmente como Chapada, pertence à família Combretaceae e distribui-se geograficamente no Brasil nas regiões Nordeste (BA, CE, MA, PI), Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT) e Sudeste (MG). Relativamente abundante e amplamente distribuída nos ecotópos entre Caatinga e Cerrado no sul do estado do Piauí. *T. fagifolia* apresenta

boa empregabilidade na carpintaria, potencial paisagístico e medicinal. Além disso, a espécie citada pode ser uma alternativa a ser utilizada na recuperação de áreas degradadas (BOTREL et al. 2015; LORENZI, 2002).

- **CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS MACROSCÓPICAS**

POROS: presentes; diâmetro pequeno (menores que 100 micrômetros); porosidade difusa; média (de 6 a 30 vasos/mm²); agrupamento em proporções variáveis de vasos solitários e múltiplos; em grupos radiais curtos (de 2 a 4 vasos); disposição independente de agrupamento sem padrão definido; com forma na seção transversal de contorno circular ou oval; maioria obstruídos (mais que 60%); obstruídos por substância de cor escura e por tilos. **PARÊNQUIMA AXIAL:** visível; em faixas; paratraqueal do tipo aliforme linear de extensão curta e confluyente; em faixas do tipo estreitas ou em linhas. **RAIOS:** visível na superfície tangencial e transversal; não contrastados na superfície radial; finos (menor que 100 micrômetros de largura); menores que 1mm de altura; muito frequentes (mais de 10 raios por mm). **ESTRUTURAS ESTRATIFICADAS:** ausentes. **ESTRUTURAS SECRETORAS:** canais intercelulares não observados. **VARIANTES CAMBIAIS:** não observadas (SEABRA, 2018).

- **CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS MICROSCÓPICAS**

Possui camadas de crescimento bem e mal definidas demarcadas por faixas/linhas marginais de parênquima axial. Possui porosidade difusa sem arranjo, com uma média de 85,41% de vasos solitários, com presença de vasos solitários e múltiplos. Possui placas de perfuração simples, pontoações intervasculares alternas/circulares, guarnecidas e pontoações raio-vasculares semelhantes as intervasculares e com aréolas reduzidas a aparentemente simples - arredondadas e angulares. Possui tiloses e inclusões orgânicas e fibras com pontoações simples ou com aréolas muito pequenas, com paredes muito espessas. Parênquima apotraqueal difuso. Parênquima paratraqueal vasicêntrico, aliforme, confluyente, em faixas e em faixas com mais de 3 células de largura, em linhas, em faixas marginais, 3-4 células de largura. Raios com todas as células eretas ou quadradas. Presença de cristais (SEABRA, 2018).

4.3 DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA A ORGANISMOS XILÓFAGOS

A madeira apresenta diversas utilidades, podendo ser empregada para usos internos ou externos. Existem algumas desvantagens que comprometem sua durabilidade natural, principalmente quando utilizada ao ar livre, tais como: biodeterioração, deterioração por radiação ultravioleta, variações dimensionais causadas pela alteração da umidade, dentre outras (BAHIA, 2015). Nesse contexto a biodeterioração promovida por agentes xilófagos, principalmente fungos apodrecedores, é uma das mais agressivas, visto que corrompem as principais estruturas presentes na madeira como a celulose, hemicelulose e lignina.

Os fungos da classe dos basidiomicetos que causam apodrecimento são um grupo particular de organismos heterotróficos que retiram os nutrientes da madeira e, por isso, são denominados de fungos xilófagos. A anatomia da espécie hospedeira e a estrutura da parede celular dos diferentes tipos de células são fatores decisivos na determinação do padrão de deterioração que esses fungos promovem. Essa deterioração altera funções fisiológicas, físico-químicas, mecânicas, entre outras, da madeira, e resultam do efeito das enzimas e toxinas produzidas pelos fungos sobre as células e parede celular, visando a utilização destes componentes como nutrientes (DA SILVEIRA, 2018; BARI et al. 2015; SILVA et al. 2001; STANCHEVA et al. 2009; ZABEL; MORRELL, 1992).

De acordo com Almeida et al. (2018) e Silva (2005), as madeiras mais resistentes à ação desses organismos são aquelas que possuem alta massa específica, por apresentarem uma estrutura celular mais fechada e elevado teor de substâncias especiais, que impregnam as paredes de suas células. A resistência da madeira à deterioração varia em função das características intrínsecas de cada espécie, como a presença de extrativos, que são substâncias químicas que podem atuar como preservantes naturais inibindo a ação dos organismos xilófagos.

Todas as madeiras podem se tornar suscetíveis ao ataque de organismos xilófagos caso estejam sob condições favoráveis de umidade, temperatura e pH. A ausência ou presença de concentrações muito baixas de oxigênio podem impedir ou restringir o desenvolvimento deste agente deteriorante na madeira (VIEIRA, 2019; SCHMIDT, 2006). Sendo assim, a durabilidade natural da madeira permite avaliar a vida útil e a suscetibilidade aos agentes deterioradores (TOMAZELI et al. 2016).

4.3.1 Fungos de podridão branca

Os fungos de podridão branca pertencentes aos basidiomicetos são organismos robustos que possuem alta tolerância a ambientes tóxicos, uma vez que suas enzimas conseguem deteriorar a maioria dos anéis aromáticos que estão presentes comumente na lignina, organopoluentes e em preservantes de madeira como o pentaclorofenol (DA SILVEIRA, 2018; MOORE et al. 2011).

De acordo com Da Silveira (2018) a lignina é um heteropolímero extremamente complexo e sem regularidade estereoquímica que incrusta as paredes celulares e serve como uma barreira protetora dificultando o ataque. A deterioração dela é vista como uma estratégia dos fungos de podridão branca cujo objetivo é ganhar acesso aos polímeros dos carboidratos da parede celular e usá-los como fonte de energia. Portanto, a capacidade de deteriorar a lignina é o que torna os fungos de podridão branca tão agressivos.

Esses fungos crescem principalmente no lúmen das células vegetais da madeira, podendo inicialmente constar de inúmeras hifas. O início da colonização nas angiospermas ocorre via parênquima dos raios e por meio das pontuações nos vasos, enquanto que nas gimnospermas, afeta o parênquima dos raios e os canais resiníferos. A passagem das hifas entre as células ocorre inicialmente por meio das pontuações, mas posteriormente, via perfurações e fendas na parede da

célula em função do avançado estado de decomposição. Os padrões de ataque à madeira podem variar entre as diversas cepas de fungos de podridão branca, mas em geral, a oxidação da lignina por estes fungos faz com que a madeira adquira uma aparência esbranquiçada e amolecida nos estágios tardios de deterioração (DA SILVEIRA, 2018; EATON e HALE, 1993).



Figura 4.12: Madeira atacada por fungo de podridão branca, sendo o lado B a madeira atacada e o lado A a madeira sadia. (Fonte: MORESCHI, 2013.)

4.3.2 Fungos de podridão parda

Os fungos de podridão parda apresentam preferência pela celulose, hemicelulose e outros compostos em menor quantidade, não metabolizando a lignina. Segundo Godell (2003) esses fungos não produzem enzimas capazes de fazer a digestão da lignina, mas são capazes de causar alterações na lignina durante o processo de deterioração. Estas alterações podem estar associadas com a liberação de metanol proveniente das reações de desmetoxilação e não com a deterioração da lignina propriamente (ARANTES; MILAGRES, 2009)

Considerando o colocado por Vieira (2019), o processo de decomposição da madeira é caracterizado inicialmente pela presença de rachaduras profundas, tanto longitudinais quanto transversais, fazendo com que a madeira tenda ao encurvamento e colapso devido a perda de massa da maior parte dos elementos estruturais da parede celular, holocelulose, e ainda modificação na lignina residual, a qual não oferece mais a mesma resistência mecânica anterior ao ataque do fungo.

De acordo com Cullen (2014), nos estágios finais do ataque, após a remoção da celulose, hemicelulose e outros compostos os quais o fungo metaboliza, o que permanece é a massa de lignina como um resíduo polimérico.



Figura 4.13: Madeira atacada por fungo de podridão parda. (Fonte: MORESCHI, 2013.)



Figura 4.14: Comparação entre madeira atacada por fungo de podridão branca (A) e por fungo de podridão parda (B). (Fonte: ALCÂNTARA, 2015).

4.3.3 Campos de Apodrecimento de Madeiras

As avaliações da resistência natural da madeira aos agentes xilófagos podem ser realizadas através de ensaios de laboratório e de campo. O primeiro permite resultados em períodos mais curtos, enquanto o segundo necessita de mais tempo para serem obtidos, proporcionando condições mais realistas, em virtude, da madeira estar exposta em ambientes abertos ou em condições mais próximas à realidade (BATISTA, 2020).

Portanto, ensaios em laboratório simulam uma condição pré-definida anteriormente, com temperatura, higienização do material, tempo, medições e duração do experimento controladas. No campo de apodrecimento de madeiras acontece o contrário, as amostras seguem as dimensões propostas por modelos para o bioma no qual o campo de apodrecimento está sendo implantado e a partir da implantação elas estão sujeitas a intemperismos, insetos, fungos, oxidação química e outros agentes deterioradores de madeira.

Conforme Costa et al. (2012) a desvantagem do campo de apodrecimento é a longa duração do experimento. As amostras são inspecionadas periodicamente, com o objetivo de avaliar seu estado de sanidade. De acordo com a metodologia de Jesus et al. (1998), adaptada pelo LPF, quando 60% das amostras (repetições) de um determinado tratamento são deterioradas, a estaca é retirada do campo e têm-se a durabilidade natural final a organismos xilófagos para a espécie em questão.

4.4 ANÁLISE MULTIVARIADA (PCA E LDA)

De acordo com Souza & Poppi (2012), a Análise dos Componentes Principais – PCA diz respeito a uma análise exploratória, cujo objetivo é facilitar a visualização da estrutura dos dados

estudados, verificar similaridades entre eles, detectar *outliers* e reduzir o conjunto de dados. Desta forma, a PCA permite, a partir de uma matriz linear de scores, a visualização gráfica em duas dimensões na qual os eixos X e Y correspondem aos Componentes Principais – CP's. A posição de cada dado na nuvem das CP's no gráfico representa a composição do score em relação às demais amostras. As componentes principais 1 e 2 explicam a maior parte da variância total do conjunto de dados, e assim, podem ser usadas para representá-lo (MOURA et al., 2006; SANTOS, 2015).

Os principais gráficos resultantes de uma análise do componente principal são os gráficos de *Scores* e o de *Loadings*. Segundo Panero et al. (2009) os *scores* dizem respeito à composição dos componentes principais em relação às espécies, ou seja, em relação às amostras. Já os *loadings* representam a composição relacionada às características anatômicas, no caso, as variáveis métricas.

Em relação a Análise Discriminante Linear – LDA, Protil & Silva (2006) descrevem-na como uma técnica multivariada assim como a PCA, que busca indicar relações entre uma variável não-métrica, qualitativa, e um conjunto de variáveis métricas, quantitativas. Portanto a LDA discrimina e classifica dados. Conforme Johnson & Wichern (1999) a discriminação consiste em procurar características capazes de serem utilizadas para agrupar ou separar as amostras (espécies) em grupos previamente definidos, sendo estes as classes de durabilidade natural.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 CONDUÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi realizado no Laboratório de Produtos Florestais - LPF, pertencente ao Serviço Florestal Brasileiro - SFB do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, com a colaboração das Áreas de Anatomia e Morfologia, Química, Biodegradação e Preservação e do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília - EFL/UNB a partir dos dados de durabilidade natural a organismos xilófagos, em campo de apodrecimento de madeiras e das características anatômicas de 5 espécies da Caatinga (Tabela 5.1).

Tabela 5.1: Espécies florestais estudadas e suas respectivas durabilidades naturais em anos.

Espécie	Nome científico	Nome popular	Durabilidade Natural
1	<i>Combretum glaucocarpum</i> Mart.	Sipaúba	2
2	<i>Handroanthus ipetiginosus</i>	Pau D'arco Roxo	6
3	<i>Pterodon abruptus</i> (Moric.) Benth.	Pau Amarelo	6
4	<i>Swartzia psilonema</i> Harms	Jacarandá-Sangue	4
5	<i>Terminalia fagifolia</i> Mart.	Chapada	6

5.2 DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA

Os dados de durabilidade natural em anos foram obtidos a partir do campo de apodrecimento implantado pelo LPF/SFB em 2015 na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, visto que este proporciona um ambiente mais próximo do qual as espécies são utilizadas. As espécies foram agrupadas em classes de durabilidade de acordo com o proposto por Jesus et al. (1998), conforme apresentado na Tabela 5.1, com as estacas nas dimensões de 2,5x50x50cm.

A máxima durabilidade natural a organismos xilófagos, obtidas até a presente data, no referido campo de apodrecimento foi de 6 anos, sendo que as espécie estudadas neste trabalho *Handroanthus impetiginosus*, *Pterodon abruptus* e *Terminalia fagifolia* permanecem em avaliação. Sendo assim, as espécies que apresentaram 6 anos de durabilidade natural ainda continuam no experimento em campo de apodrecimento, podendo ultrapassar a vida útil utilizada como referência neste trabalho.

Tabela 5.2: Classes de durabilidade natural de acordo com a vida útil em anos. Fonte: Jesus et al. (1998)

Grupo	Classe de Durabilidade	Vida Útil
1	Altamente Durável	> 8
2	Durável	de 5 a 8
3	Moderadamente Durável	de 2 a 5
4	Não durável	de 0 a 2

5.3 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA

As características anatômicas foram levantadas na Área de Anatomia e Morfologia do LPF/SFB, conforme o descrito por Seabra (2018). A análise e descrição das características macroscópicas foi feita acordante com o modelo proposto por Coradin e Muniz (1991), já a análise e descrição microscópica seguiu o proposto por Johansen (1940), Sass (1958), Jane (1970) e Burger & Richter (1991). Ambas as análises e descrições encontram-se em Seabra (2018).

No presente trabalho foram estudadas as seguintes características microscópicas: Comprimento de vaso (VL), Diâmetro tangencial do vaso (VD), Altura do raio (RH), Largura do raio (RW), Pontuações intervasculares (IPV), Pontuações radiovasculares (VPR), Comprimento da fibra (FL), Espessura da parede da fibra (FWT) Diâmetro total da fibra (FTD) e Diâmetro do lúmen da fibra (FDL). Todas as características citadas foram medidas em micrômetros (μm). Foram estudadas ainda Vaso/ mm^2 e Raios/ mm . A terminologia utilizada para se referir e obter cada uma das descrições anatômicas, seguiram as normas técnicas da IAWA Committee (1989) e Coradin e Muniz (1991), com exceção das características Diâmetro total da fibra (FTD) e Diâmetro do lúmen da fibra (FDL), cuja sigla foi atribuída pela autora com o objetivo de facilitar a visualização dos resultados gráficos. A sigla obedeceu a primeira letra das palavras referentes a característica anatômica.

Para o conjunto total de dados foram utilizados 3 indivíduos por espécie nos quais foram selecionadas 10 repetições, compondo assim 30 amostras de características anatômicas por espécie (Tabela 5.3), totalizando 150 amostras. Para a espécie *Terminalia fagifolia* Mart. (Chapada) foram utilizadas as repetições de 11 a 30 do indivíduo 42 somente para a característica Comprimento de vaso (VL) devido ao fato do indivíduo 43 não possuir esta informação.

Tabela 5.3: Relação das amostras utilizadas para cada espécie.

Espécie	Nome Científico	Nome Popular	Indivíduo	Amostras	Durabilidade Natural
1	<i>Combretum glaucocarpum</i> Mart.	Sipaúba	14	1-10	Não durável
			41	11-20	
			48	21-30	
2	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Pau D' arco Roxo	34	1-10	Durável
			37	11-20	
			45	21-30	
3	<i>Pterodon abruptus</i> (Moric.) Benth.	Pau Amarelo	06	1-10	Durável
			24	11-20	
			52	21-30	
4	<i>Swartzia pylonema</i> Harms	Jacarandá-Sangue	12	1-10	Moderadamente durável
			18	11-20	
			28	21-30	
5	<i>Terminalia fagifolia</i> Mart.	Chapada	41	1-10	Durável
			42	11-20	
			43	21-30	

Visando facilitar a leitura dos resultados foi designado um código para cada espécie, o qual seguiu a seguinte estrutura: número da espécie referente a ordenação alfabética, número do indivíduo da espécie analisado, número da repetição e as iniciais da classe de durabilidade natural (Tabela 5.2 e 5.3) a qual a espécie pertence. Como o objetivo do trabalho foi verificar se existe correlação entre as características anatômicas e a durabilidade natural, não foi utilizado o dado densidade básica como uma variável, pois, ainda que esta seja um resultado do arranjo anatômico da madeira outras propriedades da espécie também a constituem, como exemplo a composição química.

5.4 TRATAMENTO DOS DADOS PARA ANÁLISE MULTIVARIADA

No presente estudo, os resultados foram analisados utilizando-se a Análise dos Componentes Principais - PCA e Análise Discriminante Linear - LDA. Para tanto, foi realizado um pré-processamento dos dados brutos através do software PAST versão 4.03, que consistiu em centrar os dados na média e dividir pelo seu desvio padrão acordante com a equação inserida no software: $[(x - \text{mean}) / \text{stdev}]$, com o objetivo de normalizar os dados e anular a tendenciosidade que os mesmos, com diferentes unidades de medida poderiam gerar nos resultados, ou seja, homogeneizar os dados deixando-os na mesma escala.

6 RESULTADOS

A Figura 6.1 mostra que as amostras referentes a mesma espécie tenderam a um agrupamento em relação a classe de durabilidade, com exceção da *Terminalia fagifolia* (Chapada), que se dispersou por toda a nuvem das Componentes Principais - CP 1 e 2. As Figuras 6.2 e 6.3 mostraram que houve intersecção entre as amostras por classe de durabilidade e entre os grupos de amostras da mesma espécie quando sujeitos as elipses de 95% de confiança. O resultado da PCA mostrou ainda que as componentes principais 1 e 2 juntas explicaram 47,2% da variância das amostras e separadamente corresponderam a 35% e 12,2% respectivamente.

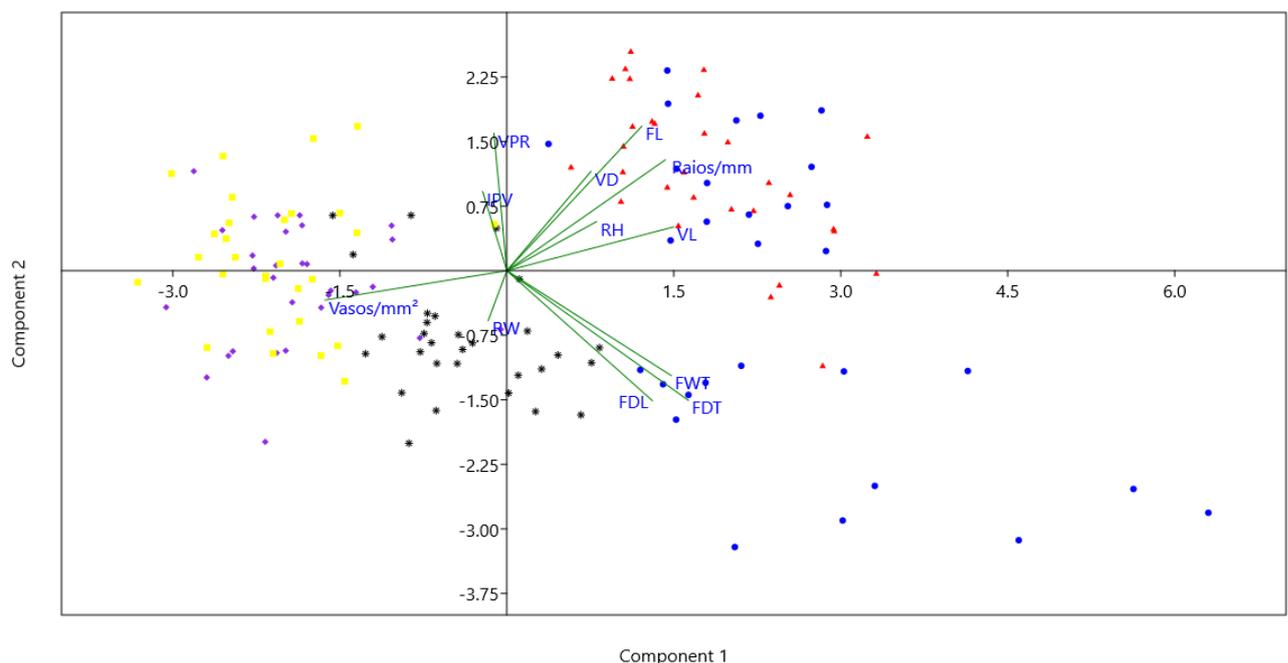


Figura 6.1: Gráfico de Scores e Loadings, onde a espécie *Combretum glaucocarpum* está em preto (estrela), *Handroanthus impetiginosus* em roxo (losango), *Pterodon abruptus* em amarelo (quadrado), *Swartzia pylonema* em vermelho (triângulo) e *Terminalia fagifolia* em azul (ponto).

Apesar de a PCA não ter retornado uma separação das amostras livre de intersecção quando submetidas a elipse de 95%, foi observado que a característica anatômica vasos/mm² influenciou a separação das espécies *Handroanthus impetiginosus* e *Pterodon abruptus*, respectivamente em roxo e amarelo, das demais espécies. Esse agrupamento informa que há similaridade na conformação de seus arranjos anatômicos. Conforme Da Silveira (2018) a densidade básica da *Pterodon abruptus* é de 0,75 g/cm³, caracterizando-a como uma madeira dura. Já Costa et al. (2021) e Silva e Oliveira (2016) trazem para o gênero *Handroanthus spp.* a densidade básica de 1,08 g/cm³, também caracterizando-a como dura. Ambas as espécies são duráveis conforme a classificação

de Jesus et al. (1998).

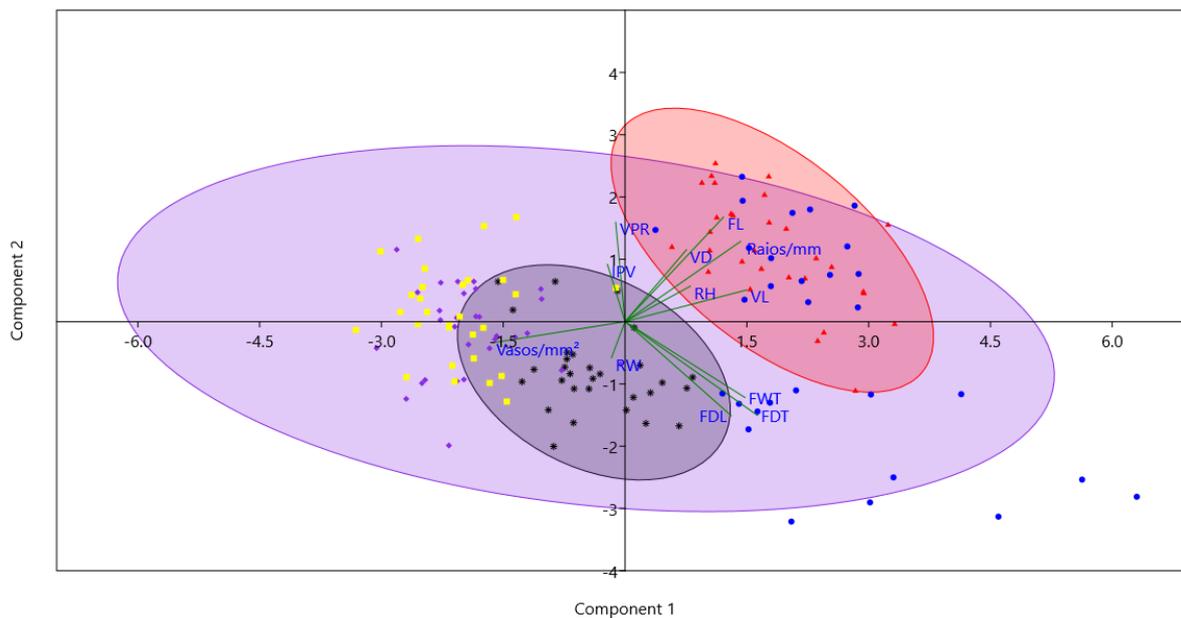


Figura 6.2: Gráfico de Scores e Loadings considerando a dispersão por grupo de durabilidade natural, onde a espécie *Combretum glaucocarpum* está em preto (estrela), *Handroanthus impetiginosus* em roxo (losango), *Pterodon abruptus* em amarelo (quadrado), *Swartzia pisonema* em vermelho (triângulo) e *Terminalia fagifolia* em azul (ponto).

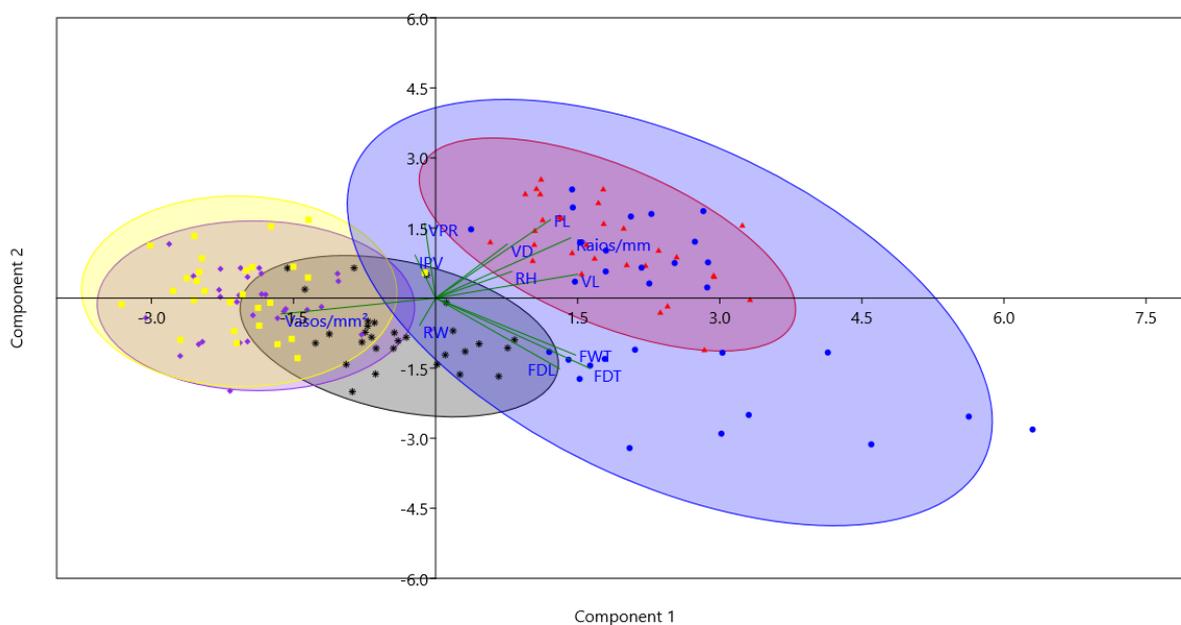


Figura 6.3: Gráfico de Scores e Loadings considerando a dispersão por grupo de espécies, onde a espécie *Combretum glaucocarpum* está em preto (estrela), *Handroanthus impetiginosus* em roxo (losango), *Pterodon abruptus* em amarelo (quadrado), *Swartzia pisonema* em vermelho (triângulo) e *Terminalia fagifolia* em azul (ponto).

As características anatômicas largura do raio (RW) e diâmetro do lúmen da fibra (FDL), influenciaram na separação da espécie *Combretum glaucocarpum*, em preto, sendo ela a espécie com menor durabilidade natural, 2 anos. Indo de encontro com o colocado por Granzotto (2017), que traz a densidade básica de 0,74 g/cm³ para a espécie, sendo a menor densidade entre as espécies estudadas nesse trabalho.

Já espécie *Swartzia psilonema*, em vermelho, foi agrupada em relação as características raios/mm, comprimento de fibra (FL) e de vaso (VL), diâmetro do vaso (VD) e altura do raio (RH), sendo a espécie que possui maior diâmetro de vaso e maior comprimento de fibra. As demais características influenciam menos no agrupamento desta espécie. A *Swartzia psilonema* foi classificada como resistente de acordo com Granzotto (2017), apresentando densidade básica de 0,81 g/cm³, valor esse intermediário entre os de densidade básica das demais espécies presentes neste trabalho, indo de encontro com a classe moderadamente durável para a espécie.

A PCA mostrou uma dispersão não padronizada para a espécie *Terminalia fagifolia*, tanto na CP 1 e 2, quanto na CP 1 e 3 (Figura 6.4). A maioria das amostras para esta espécie permaneceram na parte positiva da CP 1 e se aproximaram da dispersão da *Swartzia psilonema*. Os valores médios das características anatômicas citadas acima para essas duas espécies foram mais próximos entre si do que com as outras espécies (Tabela 6.1).

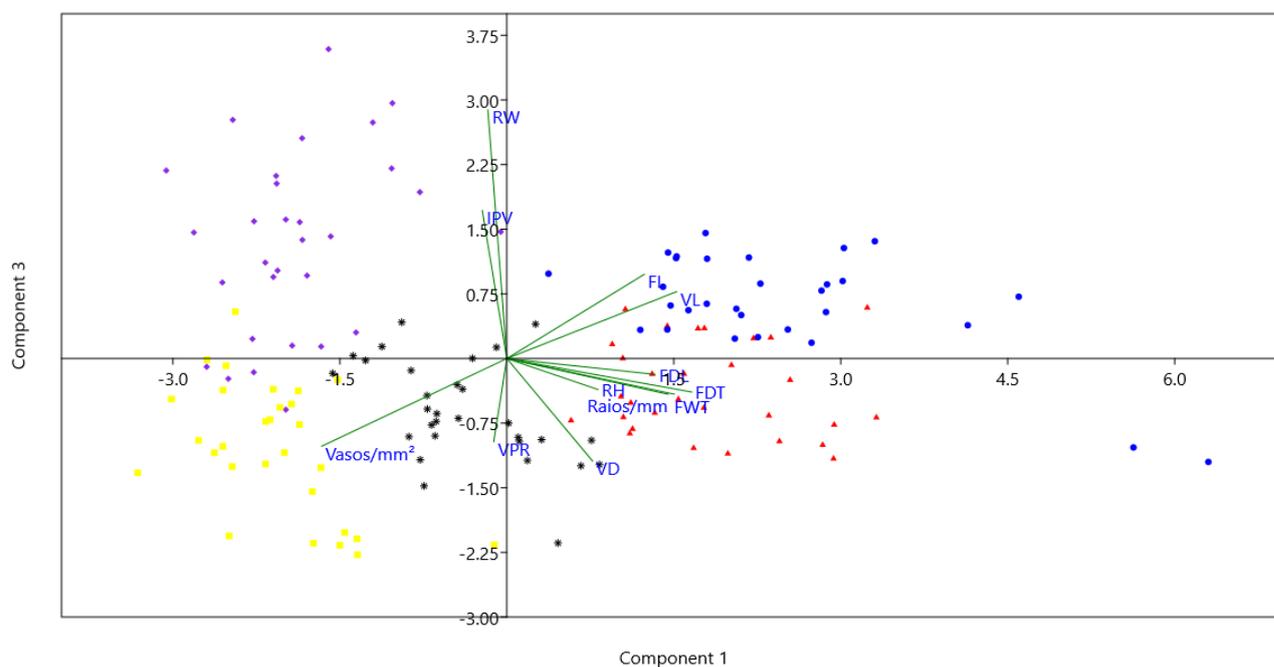


Figura 6.4: Gráfico de Scores e Loadings considerando a dispersão por grupo de espécies nas CP's 1 e 3, onde a espécie *Combretum glaucocarpum* está em preto (estrela), *Handroanthus impetiginosus* em roxo (losango), *Pterodon abruptus* em amarelo (quadrado), *Swartzia psilonema* em vermelho (triângulo) e *Terminalia fagifolia* em azul (ponto).

Tabela 6.1: Valores quantitativos médios, máximos e mínimos das características anatômicas para as espécies *Swartzia psilonema* e *Terminalia fagifolia*.

	<i>Swartzia psilonema</i>			<i>Terminalia fagifolia</i>		
	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo
Vasos/mm ²	17	29	10	9	14	4
VL	342,61	420,54	260,82	428,64	603,70	279,52
VD	105,66	149,70	49,67	90,59	148,38	50,23
Raios/mm	13	14	9	12	16	7
RH	220,22	291,23	118,91	176,43	319,60	98,81
RW	14,32	28,82	5,61	20,33	30,88	10,90
IPV	7,48	9,48	5,89	7,35	11,68	4,08
VPR	7,04	8,62	5,20	5,57	8,04	2,76
FL	1193,25	1504,56	730,00	1101,08	1402,23	722,43
FDT	20,91	26,65	15,99	22,85	39,42	15,10
FDL	4,47	10,04	2,48	6,56	9,96	4,28
FWT	8,22	10,19	5,47	8,14	15,01	4,72

Sendo assim, mesmo com a dispersão não padronizada da *Terminalia fagifolia* essa aproximação anatômica com a *Swartzia psilonema* poderia explicar o porquê de parte das amostras dessas espécies terem se agrupado em conjunto. O padrão de agrupamento da *Terminalia fagifolia* próximo ao da *Swartzia psilonema* pode indicar que a *Terminalia fagifolia*, ainda que uma espécie durável, esteja mais próxima em desempenho na vida real da *Swartzia psilonema*, moderadamente durável, do que das outras espécies classificadas como duráveis neste trabalho.

A LDA por grupo de espécie, (Figura 6.5), e por classe de durabilidade natural, (Figura 6.6), foi realizada a partir dos *scores* da PCA, uma vez que estes representam a posição das espécies na nuvem da componente principal, a qual é composta pela influência das características anatômicas. O resultado mostrou que houve certa discriminação entre as espécies com as amostras de uma mesma espécie se mantendo agrupadas em conjunto. Esse resultado vai de encontro com o percentual de classificação correta da matriz de confusão (Tabela 6.2) de 92,67%. Sendo que 90% das amostras da *Combretum glaucocarpum*, 87% da *Handroanthus impetiginosus*, 93% da *Pterodon abruptus* e 97% da *Swartzia psilonema* e *Terminalia fagifolia* foram agrupadas corretamente.

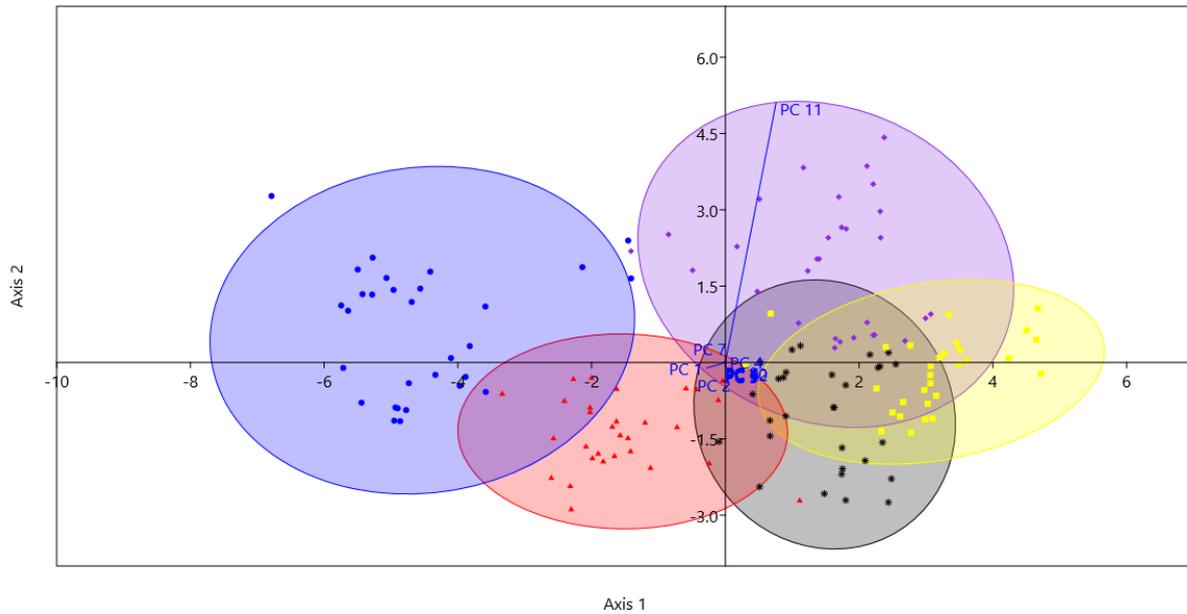


Figura 6.5: Gráfico do agrupamento das espécies submetida a uma elipse de 95% de confiança da ADL, onde a espécie *Combretum glaucocarpum* está em preto (estrela), *Handroanthus impetiginosus* em roxo (losango), *Pterodon abruptus* em amarelo (quadrado), *Swartzia pylonema* em vermelho (triângulo) e *Terminalia fagifolia* em azul (ponto).

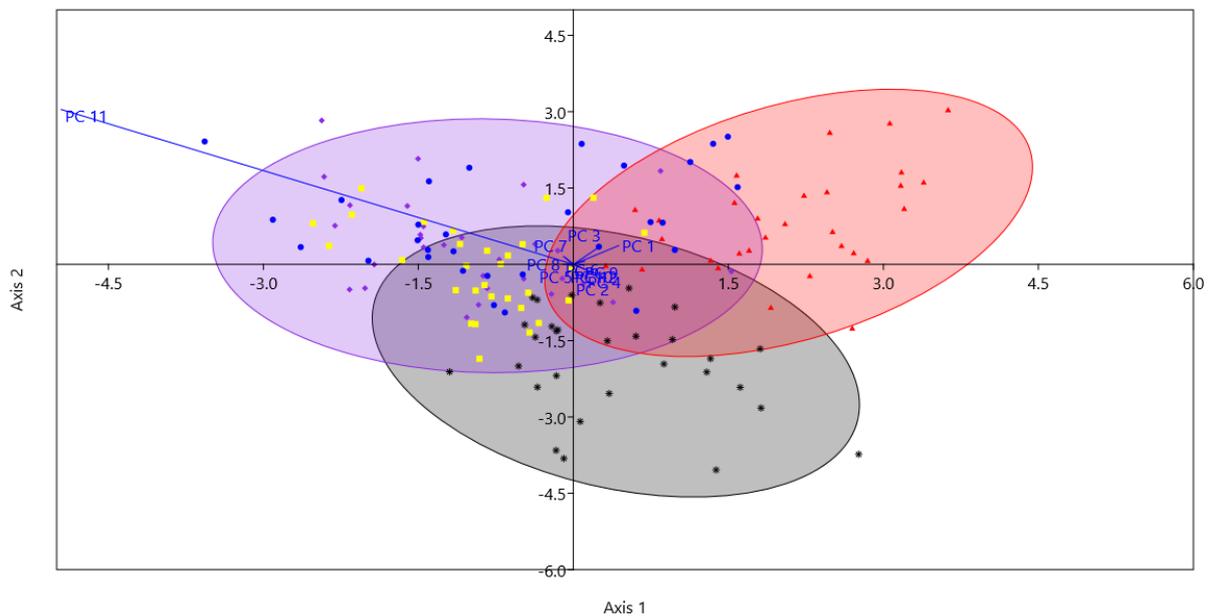


Figura 6.6: Gráfico do agrupamento das espécies por classe de durabilidade natural submetida a uma elipse de 95% de confiança da ADL, onde a espécie *Combretum glaucocarpum* está em preto (estrela), *Handroanthus impetiginosus* em roxo (losango), *Pterodon abruptus* em amarelo (quadrado), *Swartzia pylonema* em vermelho (triângulo) e *Terminalia fagifolia* em azul (ponto).

A matriz de confusão, considerando as espécies por grupo de classes de durabilidade (Tabela 6.3), retornou o percentual de classificação correta de 84,67%. Essa matriz mostrou que 90% das amostras da *Combretum glaucocarpum*, foram classificadas como não duráveis, 93% das amostras da *Swartzia pylonema*, da classe moderadamente durável, foram classificadas corretamente e 80% das amostras das espécies *Handroanthus impetiginosus*, *Pterodon abruptus* e *Terminalia fagifolia*, também foram classificadas corretamente como duráveis. O valor de 80%, para as três últimas espécies citadas, coincide com a dispersão não padronizada da *Terminalia fagifolia* em torno das outras classes de durabilidade natural observada na PCA.

Ao submeter a ADL a uma elipse de confiança de 95%, tanto a análise dos grupos por classe de durabilidade, quanto por espécie apresentaram intersecção entre si (Figura 6.5), além das amostras que não foram agrupadas dentro da elipse, expressando o comportamento de falsos positivos, amostras que estão agrupadas nas suas respectivas classes de durabilidade pré-estabelecidas mas não deveriam, e falsos negativos, amostras que estão fora da elipse de confiança da classe de durabilidade a qual ela pertence.

Tabela 6.2: Matriz de confusão gerada pela ADL para as amostras por grupo de espécies.

Matriz de Confusão	<i>Combretum glaucocarpum</i>	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	<i>Pterodon abruptus</i>	<i>Swartzia pylonema</i>	<i>Terminalia fagifolia</i>	Total
<i>Combretum glaucocarpum</i>	27	1	2	0	0	30
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	1	26	3	0	0	30
<i>Pterodon abruptus</i>	2	0	28	0	0	30
<i>Swartzia pylonema</i>	1	0	0	29	0	30
<i>Terminalia fagifolia</i>	0	1	0	0	29	30
Total	31	28	33	29	29	150

Tabela 6.3: Matriz de confusão gerada pela ADL para as amostras por classe de durabilidade.

Matriz de confusão	Não Durável	Durável	Moderadamente Durável	Total
Não Durável	27	3	0	30
Durável	7	72	11	90
Moderadamente Durável	0	2	28	30
Total	34	77	39	150

A ACP e a ADL foram realizadas utilizando-se o total de amostras disponíveis (450), porém o resultado foi muito próximo ao da quantidade de amostras iniciais (150) isso se deve ao fato de as amostras serem repetições para a mesma espécie. A CP 1 e 2 referentes a 150 amostras explicaram 47,2% da variação e a CP 1 e 2 referentes a 450 amostras explicaram 48% da variação. Optou-se então por utilizar 150 amostras com o objetivo de diminuir a poluição visual nos gráficos gerados pela ACP e ADL.

7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

As CP's 1 e 2 juntas explicaram 47,2% da variação total das espécies em relação as características anatômicas.

Os resultados não mostraram um valor sólido o suficiente para indicar correlação entre as características anatômicas e a durabilidade natural das espécies estudadas.

A ACP indicou que as espécies *Handroanthus impetiginosus* e *Pterodon abruptus* se agruparam próximas uma da outra e da característica vasos/mm².

As características comprimento de fibra e de vaso e raios/mm influenciaram no distanciamento da *Swartzia psilonema* das demais espécies.

A espécie *Combretum glaucocarpum* agrupou-se ao redor das características largura de raios, diâmetro do lúmen da fibra e diâmetro total da fibra.

A LDA classificou corretamente 92,67% das amostras, indicando uma baixa variação dentro de uma mesma espécie.

O estudo indicou a tendência de relação entre as características anatômicas e a durabilidade natural das espécies em campo de apodrecimento.

Os resultados mostraram a necessidade de um maior número amostral de espécie por classes de durabilidade.

As espécies *Handroanthus impetiginosus*, *Pterodon abruptus* e *Terminalia fagifolia* continuam em campo de apodrecimento de madeiras, indicando que a durabilidade natural destas espécies ainda não foi definida.

Os resultados não permitem confirmar a hipótese do estudo, e tão pouco, rejeitá-la uma vez que foram observadas tendências.

O estudo apontou uma metodologia para construção de um modelo preditivo de durabilidade natural baseado em caracteres anatômicos, sendo um caminho para futuras investigações entre diferentes áreas da ciência florestal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, M. C., LIMA, E. A., GOES, B. C., HELM, C. V., AUER, C. G., ZEFERINO, I. **Efeito do ataque de fungos de podridão nas características da madeira de eucalipto**. Embrapa Florestas, 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131775/1/2015-EdsonL-CFP-Efeitos.pdf>>.

ALMEIDA, F. S. et al. **Degradação natural da madeira de quatro espécies em ambiente florestal**. Revista Ciências da Vida, Rio de Janeiro, v. 32, n 2, p. 43-50, 2012.

ALMEIDA, G. N. **Durabilidade natural de estacas de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) em campo de apodrecimento**. Monografia. Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. Mossoró/RN, 40p. 2018.

ANGYALOSSY-ALFONSO, V.; MILLER, R. B. **Wood anatomy of the Brazilian species of *Swartzia* and considerations within the tribe Swartzieae**. IAWA Journal, v. 23, n. 4, p. 359–390, 2002.

ARANTES, V.; MILAGRES, A. M. F. **Relevância de compostos de baixa massa molar produzidos por fungos e envolvidos na biodegradação da madeira**. Química Nova, v. 32, n. 6, p. 1586–1595, 2009.

BAHIA, M. S. **Biodeterioração e a durabilidade da madeira: estudo de aspectos construtivos em Campo Mourão-PR**. Monografia (Título de Engenheiro Florestal). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão. 109p. 2015.

BARI, E. et al. **Comparison between degradation capabilities of the white rot fungi *Pleurotus ostreatus* and *Trametes versicolor* in beech wood**. International Biodeterioration and Biodegradation, v. 104, p. 231–237, 2015.

BATISTA, F. G. **Resistência natural de madeiras de cinco espécies do bioma Caatinga em ensaio de campo**. Dissertação de mestrado. UFRN. Macaíba – RN. 77p. 2020.

BOTREL, R, T., BRITO, D. R. S., SOUSA, W. C. SOUZA, A. N. HOLANDA, A. C. **Fenologia de uma espécie arbórea em ecótono Caatinga/Cerrado no sul do Piauí**. Revista Verde (Pombal - PB - Brasil) v. 10, n.3, p 07 – 12 jul-set, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Departamento de Florestas. Programa Nacional de Florestas. Unidade de Apoio do PNF no Nordeste. **Manejo Sustentável dos Recursos Florestais da Caatinga**. Natal, 2008. 28p.

BUKHARD, B.; KROLL, F.; NEDKOV, S.; MULLER, F. **Mapping ecosystem service supply, demand and budgets**. Ecological Indicators. 21:17-29p. 2012.
DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.06.019.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel. 154p. 1991.

CHAVES, A. G. C. **Diagnóstico da exploração de lenha em planos de manejo florestal sustentável na Caatinga do Rio Grande do Norte.** UFRN. Macaíba – RN. 52p. 2016.

CORADIN, V.T.R. & MUÑIZ, G.B. **Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I. Angiospermae; II. Gimnospermae.** Brasília: IBAMA, 1991.

CORADIN, V.T.R. **A Estrutura Anatômica da Madeira e Princípios para a sua identificação.** Brasília – LPF. 28p. 2002.

COSTA, A. F.; VALE, A. T.; GONZALES, J. C.; SOUZA, F. D. M. **Durabilidade de madeiras tratadas e não tratadas em campo de apodrecimento.** Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 12, n. 1, p. 7-14, 2012.

COSTA, A. C. S. et al. **Quality of tropical hardwood floors.** Scientific Article. Revista Árvore;45:e4503. 10p. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-908820210000003>>.

CULLEN, D. **Wood decay.** In: MARTIN, F. (Ed.). *The Ecological Genomics of Fungi.* 1st ed. John Wiley & Sons. p.41–62. 2014.

DA SILVEIRA, M. F. **Influência de metabólitos secundários de madeiras da Caatinga na resistência ao ataque de fungos apodrecedores.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Publicação PPGEFL.DM-313/2018. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília, DF. 82p. 2018.

EATON, R. A.; HALE, M. D. C. **Wood - Decay, pests and protection.** 1st edition ed. London: Chapman & Hall, 1993.

GODELL, B. **Brown-rot fungal degradation of wood: our evolving view.** In: GODELL, B. 2003.

GRANZOTTO, M. WIMMER, P. TEIXEIRA, D. E. **Trabalhabilidade da madeira de oito espécies da Caatinga.** Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira – III CBCTEM. Florianópolis, 2017. Anais Eletrônicos. Disponível em: <<https://proceedings.science/cbctem/papers/trabalhabilidade-da-madeira-de-oito-especies-da-caatinga>>.

HELAYEL, M. A. et al. **Intoxicação espontânea por *Combretum glaucocarpum* Mart. [sin: *Thiloa glaucocarpa* (Mart.) Eichler] (Combretaceae) em bovinos.** MEDICINA VETERINÁRIA. Ciênc. anim. bras. 8. 2017.

IAWA COMMITTEE. **List of microscopic feature of hardwood identification.** IAWA Bulletin. Leiden. n. 10, v. 3, p. 219-332. 1989.

JANE, F.W. **The structure of wood.** 2 ed. Londres: Adam & Charles Black. 1970.

JESUS, M. A. MORAIS, J. W. ABREU, L. S. CARDIAS, M. F. C. **Durabilidade natural de 46 espécies de madeira amazônica em contato com o solo em ambiente florestal.** Universidade de São Paulo. IPEF - ESALQ. SCIENTIA FORESTALIS n. 54, p. 81-92, 1998.

JOHANSEN, D.A. **Plant microtechnique.** New York: McGraw-Hill. 1940.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall. 881p. 1999.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum. v.2, 97p. 2002.

LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO, Embrapa Semi-Árido. **Área de ocorrência do Bioma Caatinga e altimetria do Semiárido brasileiro**. Agência Embrapa de Informação e Tecnologia. 2010. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000glz1ehqv02wx5ok0f7mv200nvg0xn.html>.

LIMA, H.C. de; LIMA, I.B. **Pterodon in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB29841>>.

MARTINS, T. G. V.; MARTINS, D. V. V. **Understanding the dynamics of the Brazilian Market for native forest wood: A case study for Minas Gerais state, Brazil**. SCIENTIFIC ARTICLE. Rev. Árvore 45. 2021.

MATOS, M. F. S., SCARANTE, A., SOARES, M. T. S., BOGNOLA, I. A. WREGE, M. S. **Distribuição de Handroanthus impetiginosus no Brasil e as projeções futuras conforme as mudanças climáticas globais**. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação no Semiárido Brasileiro. 12p. Anais Embrapa 2017.

MENDES, M. R. DE A.; CASTRO, A. A. J. F. **Vascular flora of semi-arid region, São José do Piauí, state of Piauí, Brazil**. Check List, v. 6, n. 1, p. 39–44, 2010.

MOORE, D.; ROBSON, G. D.; TRINCI, A. P. J. **21st Century Guidebook to Fungi**. 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.

MOURA, M. C. S.; LOPES, A. N. C.; MOITA, G. C.; NETO, J. M. M. **Estudo multivariado de solos urbanos da cidade de Teresina**. Quím. Nova 3, Vol. 29, p. 429-435, 2006.

MORESCHI, J. C. **Biodegradação e preservação da madeira – Biodegradação da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, v. 1, n. 4, abr., 2013.

PANERO, F. S. VIEIRA, M. F. P; CRUZ, A. M. F.; MOURA, M. F. V. **Aplicação da análise exploratória de dados na discriminação geográfica do quiabo do Rio Grande do Norte e Pernambuco**. Orbital the eletronic Journal of Chemistry. 1, Vol. 3, pg. 228-237. 2009.

PROTIL.R. M.; SILVA, W. V. **Utilização da função de análise discriminante linear e o modelo de regressão logística na previsão de insolvência de cooperativas agrícolas do estado do Paraná**. XLIV Congresso Da Sober – Questões Agrárias, Educação no Campo e Desenvolvimento. 14p. Curitiba – PR. 2006.

SANTOS, L. F. M. **Potencial de deterioração de fungos apodrecedores de madeira em ensaios de laboratório**. Departamento de Engenharia Florestal EFL/FT. Universidade de Brasília. Brasília – DF. 47p. 2015.

- SASS, J. E. **Elements of botanical microtechnique**. McGraw-Hill, New York. 1958.
- SANTIAGO, V. H. D. **Anatomia comparada do lenho do gênero Pterodon Vogel (Fabaceae), voltada à taxonomia**. Monografia de conclusão de curso. Departamento de Engenharia Florestal – EFL/FT. Universidade de Brasília, 31p. 2017.
- SCHMIDT, O. **Wood and Tree fungi - Biology, Damage, Protection and Use**. Heidelberg, Germany: Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- SEABRA, C. C. **Caracterização anatômica e colorimétrica de madeiras de nove espécies do bioma Caatinga no estado do Piauí**. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Florestal – ELF/UnB. Brasília, 56p. 2018.
- SILVA, A. S. V. S. **Identificação e potencial degradativo de fungos lignocelulolíticos associados às podridões branca e parda**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia – UnB. 850p. 2018.
- SILVA, A. C. E.; JESUS, I. D. E. ; AGUIAR, , A. **Micromorfologia da degradação da madeira da espécie amazônica *Hura crepitans* L. por fungos lignolíticos pertencentes a classe Hymenomyces**. Acta Amazonica, v.3, n.2, p. 397-418, 2001.
- SILVA, J. C. **Anatomia da madeira e suas implicações tecnológicas**. Universidade Federal de Viçosa: Departamento de Engenharia Florestal. 140 p. 2005.
- SILVA, H. C., OLIVEIRA, L. L. M. **Densidade básica da madeira e caracterização do carvão vegetal proveniente de resíduos moveleiros de Paragominas – PA**. Monografia. Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA. 47p. 2016.
- SOUZA, A. M.; POPPI, R. J. **Experimento didático de quimiometria para análise exploratória de óleos vegetais comestíveis por espectroscopia no infravermelho médio e análise de componentes principais: Um tutorial, Parte I**. Quím. Nova. 1, 2012, Vol. 35, pp. 223-229. 2012.
- STANCHEVA, Y. et al. **Atlas of Wood Decaying Fungi**. 1st. ed. Bulgaria: Pensoft Publishers, 2009.
- VIEIRA, L. F. S. **Influência da composição química de quatro espécies amazônicas na resistência natural ao ataque de fungos apodrecedores**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais. EFL/FT. Universidade de Brasília. 86p. 2019.
- VIVIAN, M. A.; SANTINI, E. J.; MODES, K. S.; GARLET, A.; MORAIS, W. W. C. **Resistência biológica da madeira tratada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* a fungos apodrecedores em ensaios de laboratório**. Ciência Florestal. Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 175-183, 2015.
- TOKARNIA, C. H.; DOBEREINER, J.; PEIXOTO, P. V. **Plantas Tóxicas do Brasil para Animais de Produção**. Rio de Janeiro: Helianthus.(2):586. 2012.

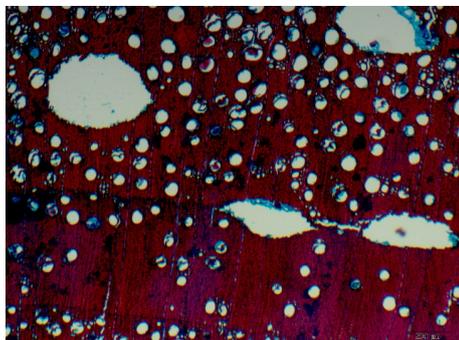
TOMAZELI, A. J. et al. **Durabilidade natural de quatro espécies florestais em campo de apodrecimento**. Tecno-Lógica, v. 20, n. 1, p. 20-25, 2016.

ZABEL, R. A.; MORRELL, J. J. **Wood Microbiology Decay and Its Prevention**. 1st. ed. San Diego: Academic Press, 1992.

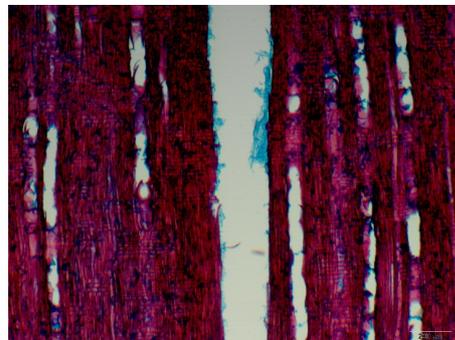
ZIDANES, U. L. **Caracterização anatômica da madeira de espécies da caatinga**. UFRPE. Recife – PE. 55p. 2017.

WORLD WILDLIFE FUND (WWF-Brasil). **Caatinga**. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/biomas/bioma_caatinga/>.2021.

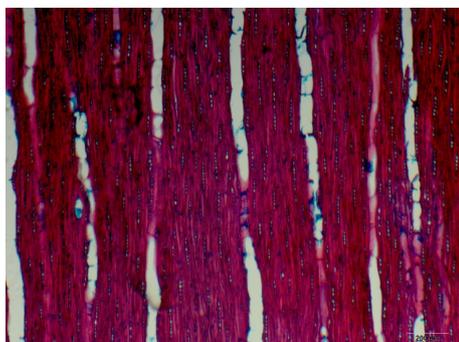
Anexo I: *Combretum glaucocarpum* (Sipaúba)



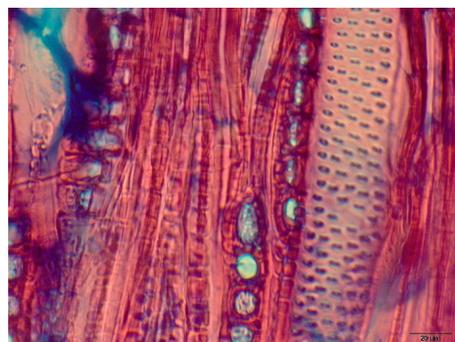
(a) Seção transversal em aumento de 40x, escala = 200 μ m.



(b) Seção radial em aumento de 40x, escala = 200 μ m.



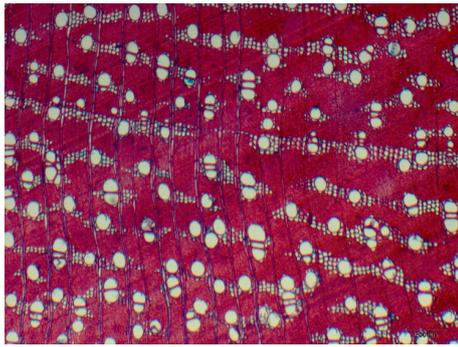
(c) Seção tangencial em aumento de 40x, escala = 200 μ m.



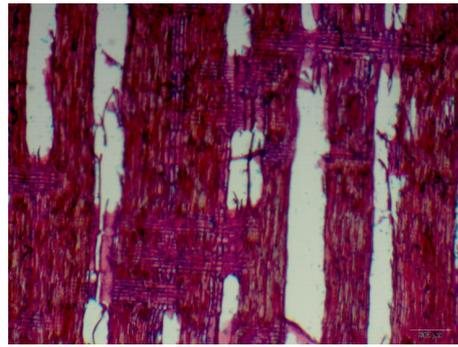
(d) Seção longitudinal para observação das pontuações intervasculares, em aumento de 400x, escala = 20 μ m.

Figura 1: Foto microscópica de referência para a espécie *Combretum glaucocarpum* Mart. (Fonte: Anatomia e Morfologia - LPF)

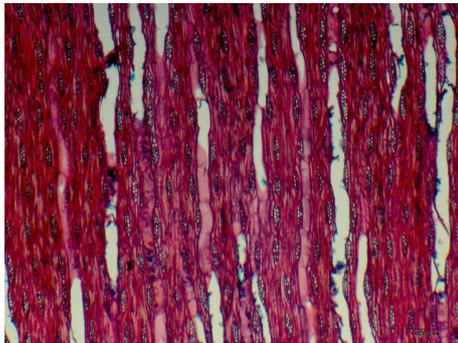
Anexo II: *Handroanthus impetiginosus* (Pau d'arco roxo)



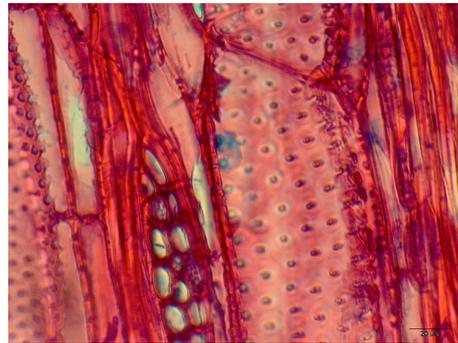
(a) Seção transversal em aumento de 40x, escala = 200 μ m.



(b) Seção radial em aumento de 40x, escala = 200 μ m.



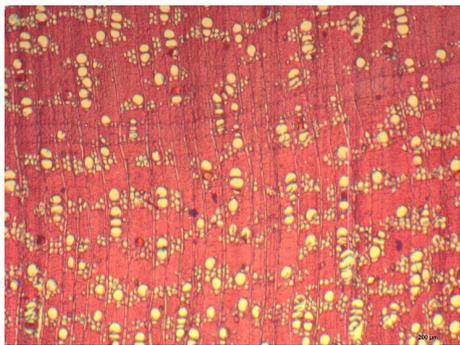
(c) Seção tangencial em aumento de 40x, escala = 200 μ m.



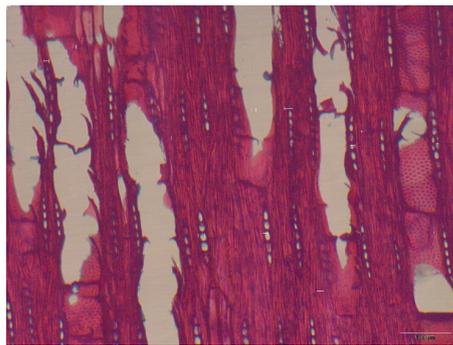
(d) Seção longitudinal para observação das pontuações intervasculares, em aumento de 400x, escala = 20 μ m.

Figura 2: Foto microscópica de referência para a espécie *Handroanthus impetiginosus* (Fonte: Anatomia e Morfologia - LPF)

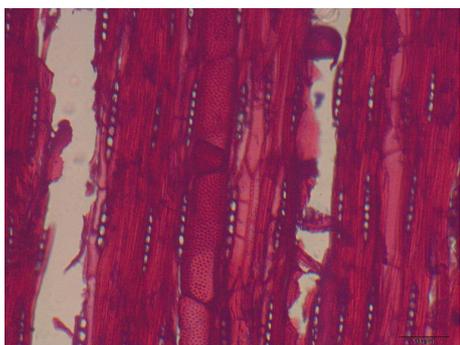
Anexo III: *Pterodon abruptus* (Pau amarelo)



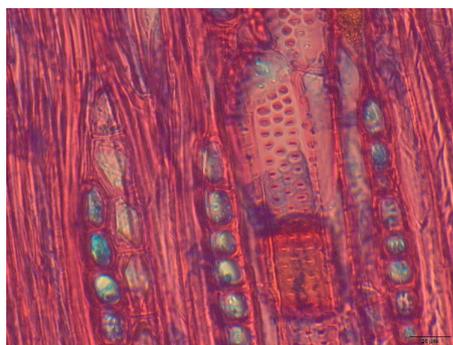
(a) Seção transversal em aumento de 40x, escala = 200 μ m.



(b) Seção tangencial para observação da largura do raio, em aumento de 40x, escala = 100 μ m.



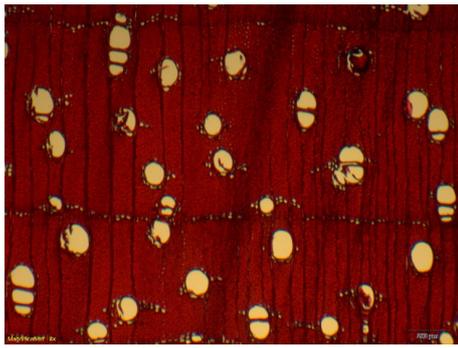
(c) Seção tangencial para observação da altura do raio, em aumento de 40x, escala = 100 μ m.



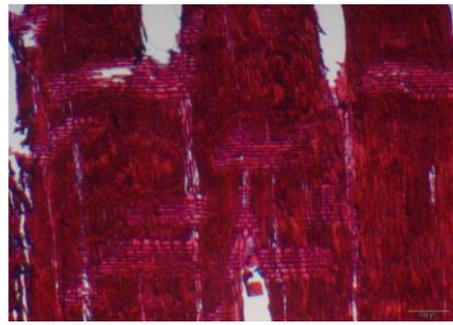
(d) Seção longitudinal para observação das pontuações intervasculares, em aumento de 400x, escala = 20 μ m.

Figura 3: Foto microscópica de referência para a espécie *Pterodon abruptus* (*Moric.*) *Benth.* (Fonte: Anatomia e Morfologia - LPF)

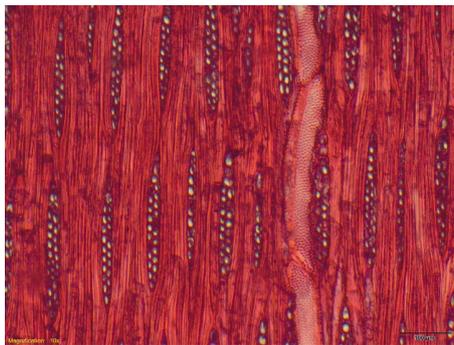
Anexo IV: : *Swartzia psilonema* (Jacarandá-sangue)



(a) Seção transversal em aumento de 40x, escala = 200 μ m.



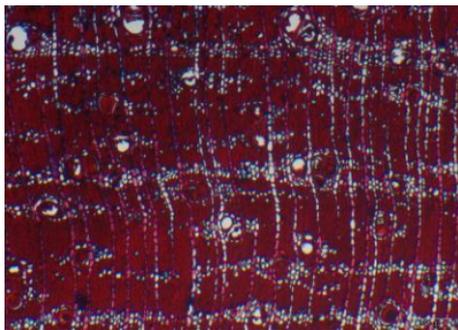
(b) Seção radial, em aumento de 400x, escala = 20 μ m.



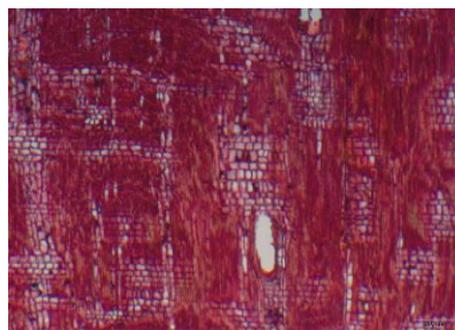
(c) Seção tangencial, em aumento de 40x, escala = 100 μ m. (Fonte: Seabra, 2018)

Figura 4: Foto microscópica de referência para a espécie *Swartzia psilonema* Harms. (Fonte: Anatomia e Morfologia - LPF)

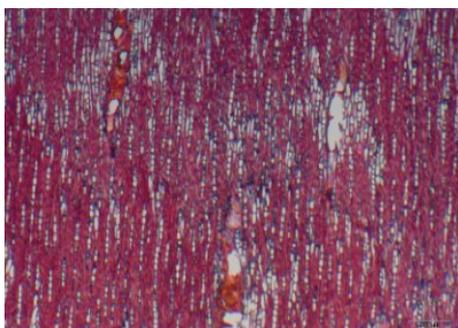
Anexo V: *Terminalia fagifolia* (Chapada)



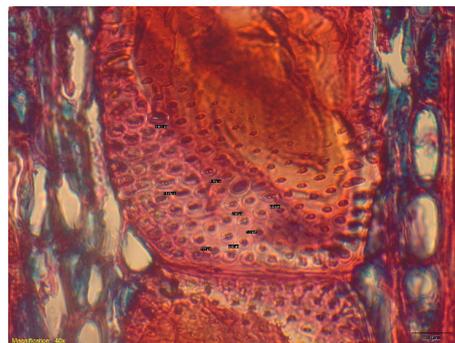
(a) Seção transversal em aumento de 40x, escala = 200 μ m. (Fonte: Seabra, 2018)



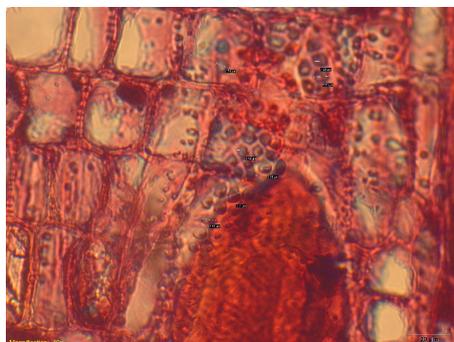
(b) Seção radial, em aumento de 40x, escala = 200 μ m. (Fonte: Seabra, 2018)



(c) Seção tangencial, em aumento de 40x, escala = 200 μ m. (Fonte: Seabra, 2018)



(d) Seção longitudinal para observação das pontuações intervasculares, em aumento de 400x, escala = 20 μ m.



(e) Seção radial para observação das pontuações radiovasculares, em aumento de 400x, escala = 20 μ m.

Figura 5: Foto microscópica de referência para a espécie *Terminalia fagifolia* Mart. (Fonte: Anatomia e Morfologia - LPF)