



Caracterização anatômica e espectroscópica para identificação de madeiras da família Fabaceae

Carlos Augusto Moraes Sobral¹, Adriana de Fátima Gomes Gouvêa², Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho³

Resumo. O comércio ilegal madeireiro gera grandes prejuízos econômicos e ambientais em nosso país, sendo necessário realizar uma proteção regulatória para impedir estas atividades ilegais. É comum a apreensão das madeiras já desdobradas, sem os componentes comumente usados para identificação das espécies, sendo de suma importância conhecer as propriedades anatômicas e químicas para a correta classificação. A adoção de metodologias de avaliação não destrutivas de madeira vem se tornando uma alternativa viável e eficaz, sendo a espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) uma ferramenta que colabora na caracterização das madeiras, reduzindo os custos e o tempo nas análises convencionais. O objetivo deste estudo foi avaliar a caracterização química e identificar as madeiras da família Fabaceae, a partir do NIRS. Avaliou-se seis espécies nativas: amburana, fava de anta, pau óleo, faveiro, angelim pedra e rouxinho. Realizou-se caracterizações químicas convencional (extrativos totais, lignina solúvel, lignina insolúvel e lignina total, holocelulose, cinzas e relação S/G) e anatômicas. Para a caracterização anatômica foi confeccionado corpos-de-prova do cerne periférico 2 x 2 x 2 cm, passando por etapas de cozimento, coloração, descoloração, desidratação e realização de cortes histológicos para montagem das lâminas permanentes. Utilizou-se para mensuração dos elementos o microscópio óptico da Leica DM750 com uma câmera ICC50 (50x e 100x). Foram realizadas leituras das serragens no equipamento NIRS e obtidos os valores preditos a partir de um modelo pré-existente para caracterização química, e posteriormente correlacionados com os valores de referência. Os resultados obtidos demonstraram que o NIRS apresentou eficiência na identificação das amostras de maneira rápida, clara e objetiva, tendo eficiência na determinação do teor de holocelulose e de extrativos totais, porém para as demais características químicas os modelos precisam de melhores ajustes.

Palavras-chave: Espectroscopia. Anatômicas. Caracterização química. Identificação.

DOI:10.21472/bjbs.v09n21-003

Submitted on:
06/03/2022

Accepted on:
07/08/2022

Published on:
07/25/2022



Open Access
Full Text Article



¹ Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, Mato Estado do Sul, Brasil.

E-mail: carlosaugustosobral5@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-9752-0661>

² Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, Mato Estado do Sul, Brasil. E-mail: agouvea@uems.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3414-7188>

³ Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. E-mail: ana.marcia@ufv.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5883-8987>

Anatomical and spectroscopic characterization for identification of wood from the Fabaceae family

Abstract. The illegal timber trade generates great economic and environmental losses in our country, making it necessary to carry out regulatory protection to prevent these illegal activities. It is common to seize wood already unfolded, without the components commonly used to identify the species, and it is extremely important to know the anatomical and chemical properties for correct classification. The adoption of non-destructive wood evaluation methodologies has become a viable and effective alternative, with near-infrared spectroscopy (NIRS) being a tool that helps characterize wood, reducing costs and time in conventional analyses. The objective of this study was to evaluate the chemical characterization and identify wood from the Fabaceae family, based on NIRS. Six native species were evaluated: amburana, tapir bean, pau oleo, faveiro, angelim stone and rouxinho. Conventional chemical characterizations (total extractives, soluble lignin, insoluble lignin and total lignin, holocellulose, ash and S/G ratio) and anatomical characterizations were carried out. For anatomical characterization, specimens of peripheral heartwood measuring 2 x 2 x 2 cm were prepared, going through stages of cooking, staining, discoloration, dehydration and making histological sections to mount the permanent slides. A Leica DM750 optical microscope with an ICC50 camera (50x and 100x) was used to measure the elements. Sawdust readings were carried out on the NIRS equipment and the predicted values were obtained from a pre-existing model for chemical characterization, and subsequently correlated with the reference values. The results obtained demonstrated that NIRS was efficient in identifying samples quickly, clearly and objectively, being efficient in determining the content of holocellulose and total extractives, but for other chemical characteristics the models need better adjustments.

Keywords: Spectroscopy. Anatomical. Chemical Characterization. Identification.

Caracterización anatómica y espectroscópica para la identificación de maderas de la familia Fabaceae

Resumen. El comercio ilegal de madera genera grandes pérdidas económicas y ambientales en nuestro país, por lo que es necesario realizar protecciones regulatorias para prevenir estas actividades ilegales. Es común incautar la madera ya desdoblada, sin los componentes comúnmente utilizados para identificar la especie, siendo de suma importancia conocer las propiedades para una correcta clasificación. La adopción de metodologías de evaluación de la madera no destructivas se ha convertido en una alternativa viable y efectiva, siendo la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) una herramienta que ayuda a caracterizar la madera, reduciendo costos y tiempos en los análisis convencionales. El objetivo de este estudio fue evaluar la caracterización química e identificar madera de la familia Fabaceae, con base en NIRS. Se evaluaron seis especies nativas: amburana, frijol danta, pau oleo, faveiro, angelim piedra y rouxinho. Se realizaron caracterizaciones químicas convencionales (extractos totales, lignina soluble, lignina insoluble y lignina total, holocelulosa, cenizas y relación S/G) y anatómicas. Para la caracterización anatómica se prepararon ejemplares de duramen periférico de 2 x 2 x 2 cm, pasando por etapas de cocción, tinción, decoloración, deshidratación y realización de cortes histológicos para montar los portaobjetos permanentes. Para medir los elementos se utilizó un microscopio óptico Leica DM750 con una cámara ICC50 (50x y 100x). Las lecturas de aserrín se realizaron en el equipo NIRS y los valores predichos se obtuvieron a partir de un modelo preexistente, y posteriormente se correlacionaron con los valores de referencia. Los resultados obtenidos demostraron que NIRS fue eficiente en identificar muestras de manera rápida, clara y objetiva, siendo eficiente en la determinación del contenido de holocelulosa y extractivos totales, sin embargo para las demás características químicas los modelos necesitan mejores ajustes.

Palabras clave: Espectroscopia. Anatómico. Caracterización Química. Identificación.

INTRODUÇÃO

A madeira é um recurso natural renovável que apresenta diversos interesses, devido as suas características que possibilitam em várias utilizações, quando comparado a outros materiais utilizados pela indústria. Porém, necessita-se de avaliação de suas estruturas e propriedades, que contribuem definitivamente para o melhor aproveitamento desta importante matéria-prima (Benites *et al*, 2015).

Acredita-se que para a comercialização da madeira é essencial a identificação científica para a efetiva fiscalização, a fim de prevenir a troca de espécies nas importações e exportações (DUTRA, 2010). Onde o comércio ilegal madeireiro gera grandes prejuízos econômicos e ambientais em nosso país, sendo necessário realizar uma proteção regulatória para impedir estas atividades ilegais, visto que a exploração ilegal contribui para o aumento crescente no desmatamento de florestas (Soares, 2017).

É comum a apreensão das madeiras já desdobradas, sem os componentes comumente usados para identificação das espécies como casca, folhas e galhos, serem agrupadas em um mesmo lote por apresentarem semelhanças como, cor e densidade. No entanto, a similaridade entre as espécies acaba dificultando no correto emprego destas madeiras, prejudicando o controle e colaborando para camuflar espécies proibidas de corte ou em risco de extinção (Santini, 2013). Portanto, é importante ter conhecimento das propriedades anatômicas e químicas da madeira para a correta classificação.

A família Fabaceae, também denominada Leguminosae, pertencente à ordem Fabales, classe Magnoliopsida e divisão Magnoliophyta, é composta por aproximadamente 19.000 espécies distribuídas em 695 gêneros (Giulietti *et al*, 2005). Sendo necessário uma especificação sobre suas estruturas e propriedades, devido ao grande número de espécies vegetais que são comercializadas, como também, pela a falta de informações sobre as mesmas (Watson & Dallwitz 2009).

Atividades de caracterizações tecnológicas da madeira são consideravelmente difíceis, exigindo diferentes estudos e ferramentas específicas, visto que a madeira é um material orgânico, heterogêneo, anisotrópico, e com composição complexa. Devido a isto, empresas florestais e os centros de pesquisas vêm realizando esforços para construir procedimentos e atividades padronizadas para estabelecer com segurança, um controle sobre a qualidade da madeira (Franco, 2014).

No entanto, os estudos anatômicos das espécies de madeira envolvem conhecimento e treinamento, uma vez que a maioria das espécies são identificadas macroscopicamente e outras necessitam de uma análise microscópica para uma caracterização mais precisa. Os parâmetros anatômicos comumente analisados e que influenciam grandemente na madeira são as dimensões, proporções e distribuição dos vasos, parênquima axial e radial e morfologia das fibras.

Logo, em seus arranjos há vários tipos de células que formam um modelo estrutural característico para cada espécie, tornando-se procedente para a utilização comercial, com o objetivo de auxiliar na

taxonomia e identificação de espécies para outros usos, pesquisas e avaliações comerciais (Thomaz, 2019).

A espectroscopia no infravermelho próximo ou NIRS (Near infrared spectroscopy), é uma técnica capaz de substituir alguns ensaios destrutivos, pois requer pouco preparo para análise das amostras, tornando-a amplamente utilizada em vários ramos da indústria e da ciência (têxtil, madeira, alimentícia, saúde e entre outros) (Tsuchikawa, Kobori, 2015).

Nesse contexto, a adoção de metodologias de avaliação não destrutivas de madeira são imprescindíveis. Sendo, o NIRS um rápido diagnóstico quando comparado com análises convencionais, com um equipamento de fácil operação e boa precisão. Podendo ser utilizado para estimar e analisar parâmetros ou moléculas que contenham ligações CH, NH, SH ou OH, colaborando na padronização e diferenciação das amostras (Hein *et al*, 2017; Baldin, 2020).

METODOLOGIA

Material

Os materiais utilizados foram madeiras doadas de serrarias do Estado de Mato Grosso do Sul. Das toras obtidas foram retiradas dois discos por árvore, utilizando-se somente a região do cerne. As madeiras avaliadas pertencem à família Fabaceae, a saber: Amburana (*Amburana cearensis* (Allemão) A.C.Sm.); Fava de anta (*Dimorphandra gardneriana* Tul.); Pau óleo (*Copaifera langsdorffii* Desf.); Faveiro (*Pterodon pubescens* Benth.); Angelim Pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke) e Rouxinho (*Peltogyne* sp.)

Métodos

Caracterização Anatômica

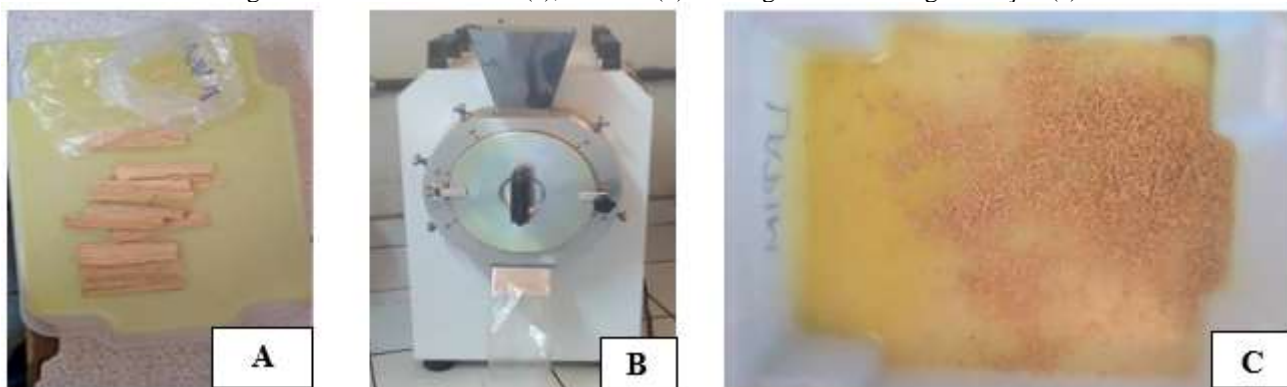
Para confecção dos corpos-de-prova, retirou-se amostras do cerne periférico, nas dimensões de 2 x 2 x 2 cm. Os corpos-de-prova passaram por um processo de amolecimento com água e glicerina, por 15 dias durante 8 horas, na temperatura de aproximadamente 150° C. Procedeu-se os cortes histológicos. Sendo que o preparo de obtenção dos cortes histológicos e mensuração, foram conforme os procedimentos propostos pelas normas da COPAM (2018) e IAWA (1989). Procedeu-se 50 mensurações para cada parâmetro avaliado.

Na seção transversal foram avaliados e caracterizados os seguintes parâmetros: diâmetro dos poros, frequência dos poros, agrupamento, tilos e parênquima axial. Na seção tangencial: altura e largura dos raios, frequência, células por largura e células por altura. Na seção radial foram avaliadas os tipos de células do parênquima radial.

Caracterização química

As amostras do cerne foram obtidas a partir de um disco de aproximadamente 5 cm, posteriormente foram cortadas em cavacos e moídas no moinho do tipo Willey de rotor vertical modelo SP-32 Labor. As serragens obtidas foram homogeneizadas em peneiras de 40 e 60 mesh, entretanto as serragens que passaram na peneira de 40 mesh e ficaram retidas na de 60 mesh, foram coletadas para análise posterior (Figura 1). Após a homogeneização da granulometria, as amostras foram armazenadas em um ambiente coberto para climatização, ou seja, visando entrar em equilíbrio com o ambiente.

Figura 1. Amostra do cerne (a), moinho (b) e serragem sem homogeneização (c)



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Em seguida, elas foram armazenadas em frascos de plásticos e realizou-se a determinação do teor absolutamente seco, de acordo com a norma TAPPI T264 cm-97 (1997). A análise química das madeiras foram realizada em duplicata para cada espécie, onde as amostras foram preparadas conforme a norma TAPPI 264 om-88 (1996). Posteriormente foi determinado o teor de umidade pelo método gravimétrico de estufa, de acordo conforme a norma ABNT NBR 11941.

O teor de inorgânicos das espécies amostradas, foram obtidos com o auxílio de forno mufla digital do Modelo SP-1200DRP7 – SPLABOR, ficando por um período de 6 horas a 750° C (Figura 2), conforme o disposto na norma T 211 om – 93 (1994).

Figura 2. Amostras de serragens sendo pesadas (A) e amostras no interior da mufla (B)



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Para a caracterização do teor de extrativos totais, foram pesados 1 grama de amostra absolutamente seca, por meio da utilização do aparelho Soxhlet, conforme a norma TAPPI T264 cm-97 (1997).

O teor de lignina foi determinado pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1986). Do filtrado restante da análise da lignina Klason foi feita a leitura em espectrofotômetro, para determinação da lignina solúvel em ácido, conforme Goldschimid (1971). O teor de lignina total é a soma da lignina residual mais a lignina solúvel em ácido.

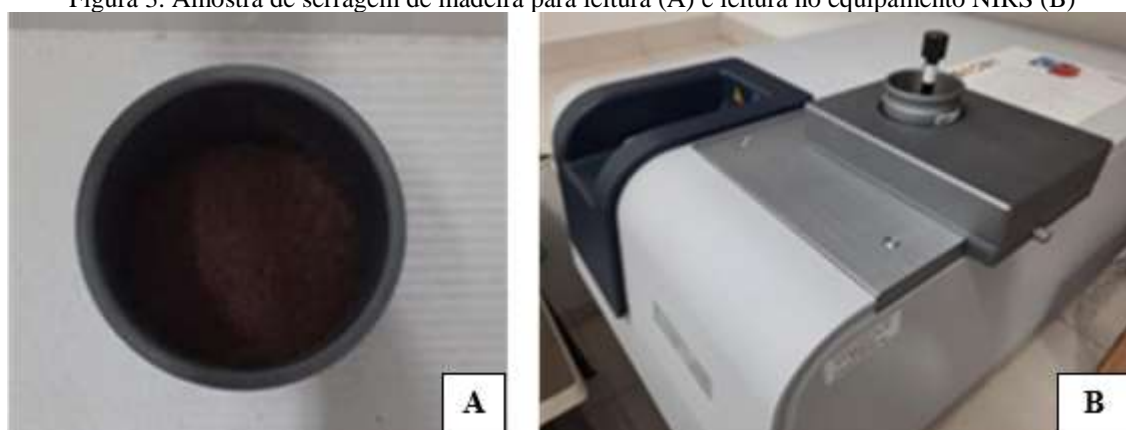
A relação siringil/guaiacil foi realizada conforme o método proposto por DENCE e LIN (1992). E a determinação da holocelulose (quantitativo) foi obtida por diferença dos demais componente analisados.

Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIRS)

As leituras das amostras foram realizadas com as serragens que passaram pela peneira de 40 mesh e ficaram retidas na de 60 mesh. Utilizou-se um modelo pré-existente de madeiras nativas, do laboratório LCP. Desta forma o modelo de calibração foi composto para predizer os valores das seguintes variáveis: extrativos, lignina insolúvel, lignina solúvel, lignina total, holocelulose, cinzas e relação S/G.

Efetuuou-se a leitura das amostras para predição dos valores de análise química, com o equipamento NIRS da marca Bruker (Figura 3), utilizando-se o software Opus 8.1. As leituras foram exploradas na faixa de 1100 até 2500 nm. Portanto, cada espectro representa uma média de 64 varreduras na amostra, com o tempo de 40 segundos.

Figura 3. Amostra de serragem de madeira para leitura (A) e leitura no equipamento NIRS (B)



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Mensurou-se a validação dos dados através de ajustes, sendo caracterizada pelo R^2 e RMSEP. O R^2 indica o grau de associação entre os valores obtidos nas análises tradicionais de laboratório e os valores preditos nos modelos gerados. Para se obter uma melhor performance de uma curva de

calibração, este valor deve ser o mais próximo de 1. Enquanto o RMSEP (Equação 1) é o erro da predição ou da validação externa, que consiste na predição de um novo conjunto de amostras e na comparação desses resultados com os valores de laboratório, sendo que o valor do RMSEP deve ser o mais próximo de zero.

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{NP} (\hat{y}_i - y_i)^2}{(NP-1)}} \text{ Equação (1)}$$

onde:

RMSEP = raiz quadrada erro padrão da predição ou validação externa em que:

\hat{y} = valor do constituinte de interesse da amostra i, predita pela calibração,

y_i = valor de referência da amostra i, ou seja, o valor conhecido,

NP = número da amostra de predição

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização Anatômica

De acordo com a tabela 1 referente aos dados obtidos a partir dos cortes anatômicos foi possível realizar uma análise descritiva de suas estruturas e propriedades.

Tabelas 1. Valores médios das características dos vasos e raios das seis espécies avaliadas

Espécie	Análise Descritiva	Vasos		Raios				
		Diâmetro dos poros (μm)	Frequência dos poros (N.mm^{-2})	Largura (μm)	Altura (μm)	Frequência (N.mm^{-1})	Células por largura (n)	Células por altura (n)
Amburana	Média	148,03	8,25	36,26	230,97	13,75	2,88	11,02
	Desv. padrão	26,54	3,11	38,89	34,54	4,03	0,55	1,66
Fava de anta	Média	78,32	42,75	21,69	162,22	23,75	3,22	9,04
	Desv. padrão	13,66	3,69	6,47	33,01	0,96	0,50	1,15
Pau óleo	Média	94,80	24,25	47,38	245,12	19,50	2,61	10,25
	Desv. padrão	27,52	2,92	9,66	52,53	1,29	0,53	1,87
Faveiro	Média	159,52	47,38	16,67	175,04	24,25	2,88	9,84
	Desv. padrão	56,28	7,74	5,13	28,99	4,43	0,55	2,57
Angelim pedra	Média	214,06	5,75	33,12	338,34	14,00	2,67	15,06
	Desv. padrão	36,81	1,04	8,49	46,58	0,82	0,55	2,64
Rouxinho	Média	129,80	26,25	34,52	382,11	11,00	4,22	25,73
	Desv. padrão	15,03	2,05	6,38	128,62	1,15	0,58	8,21

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Ao analisar o arranjo celular das seguintes espécies, bem como a variabilidade existente entre indivíduos de uma mesma espécie, é possível descrever sua estruturas e auxiliar na tomada de suas utilizações com base na literatura, conforme demonstrado a seguir:

***Amburana cearenses* (cerejeira)**

Vasos solitários e em múltiplos; distribuição difusa; pouco abundantes (5-15 mm²); médios a largos (95-210 µm de diâmetro), tilose presente, parênquima axial paratraqueal aliforme losangular, formando confluências oblíquas curtas (Figura 4-A). Raio não estratificado e exclusivamente multisseriados, numerosos (8-17 por mm linear); médios a grandes (160-337 µm de altura) (Figura 4-B). Raios heterogêneos, com presença de células procumbentes e quadradas nas extremidades (Figura 4-C).

Figura 4. Corte da seção transversal (A), tangencial (B) e radial (C) da espécie *Amburana cearenses*



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Por ser uma madeira pouco densa e macia ao corte, emprega-se o seu uso na carpintaria por apresentar boa trabalhabilidade e elevada resistência ao ataque de fungos e xilófagos (MAIA, 2004).

***Dimorphandra gardneriana* (fava de anta)**

Vasos solitários e múltiplos; com distribuição difusa (38-48 mm²); possuem diâmetros pequenos a médios (52-107 µm), tilose ausente. Parênquima axial paratraqueal confluyente (Figura 5-A). Raio estratificado, com predominância de unisseriados, mas encontra-se bisseriados; com média estratificação, raios numerosos (23-25 por mm linear); de pequeno a elevados (82-229 µm de altura) (Figura 5-B). Raios heterogêneos, constituídos por células quadradas eretas nas extremidades e procumbentes (Figura 5-C).

Figura 5. Corte da seção transversal (A), tangencial (B) e radial (C) da espécie *Dimorphandra gardneriana*

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Com base nas suas características a madeira de fava, pode ser utilizada como tabuado para confecção de caixas, compensados, forros painéis, lenha, carvão (Lorenzi, 2002). E suas cascas do tronco podem ser utilizadas para curtir couro (Tomassini & Mors, 1996).

Copaífera langsdorffii (pau óleo)

Vasos solitários e múltiplos; porosidade difusa (20-28 mm²); diâmetros pequenos a médios (19-150 µm); seção transversal circular a ovalada e tilose ausente; vasos raramente contendo pontuações intervasculares alternas. Parênquimas axiais, paratraqueal vasicêntrico verticais (Figura 6-A). Raio não estratificado; multisseriados e numerosos (18-21 por mm linear); médios a grandes (116-370 µm de altura) (Figura 6-B). Raios heterogêneos, composto de células procumbentes e quadradas nas extremidades (Figura 6-C).

Figura 6. Corte da seção transversal (A), tangencial (B) e radial (C) da espécie *Copaífera langsdorffii*

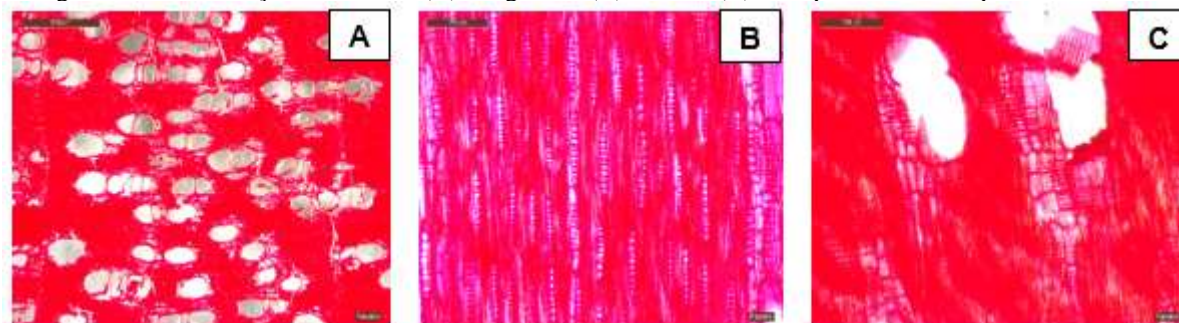
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

O interesse na madeira desta espécie é grande, pois é durável com alta resistência a ataque de xilófagos e baixa permeabilidade, própria para fabricação de peças torneadas e de marcenaria em geral (Carvalho, 1942). A árvore também é utilizada na fabricação de carvão e pelas indústrias de construção civil e naval (Loureiro, 1979; Carvalho, 1994).

***Pterodon pubescens* Benth. (faveiro)**

Vasos com porosidade difusa, solitários e múltiplos ($38\text{-}60\text{ N.mm}^2$); com diâmetro de pequeno a largos ($45\text{-}308\text{ }\mu\text{m}$); pontoações intervasculares alternas e tilose ausente. Parênquima axial confluyente oblíquo e vasicêntrico (Figura 7-A). Raio com média estratificação; com predominância de unisseriados; numerosos ($20\text{-}29\text{ mm}$); médios ($102\text{-}251\text{ }\mu\text{m}$ de altura) (Figura 7-B). Raios heterogêneos, formados por células procumbentes (Figura 7-C).

Figura 7. Corte da seção transversal (A), tangencial (B) e radial (C) da espécie *Pterodon pubescens* Benth



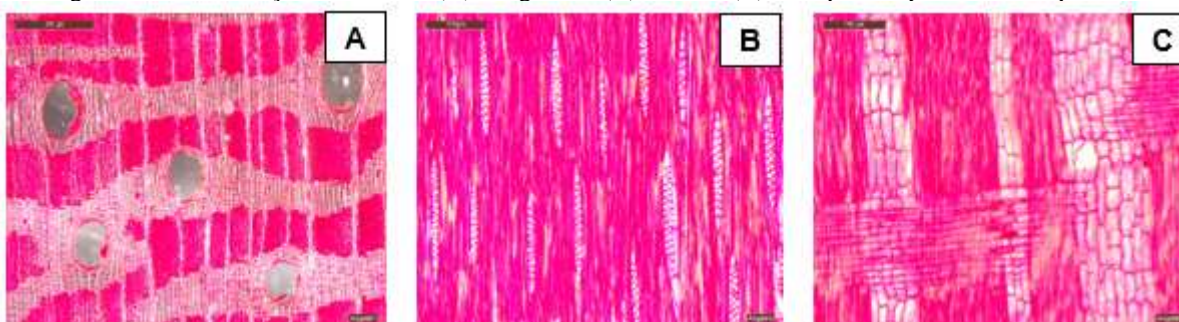
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Devido a sua alta porosidade a madeira de faveiro é difícil de se bioteriorar, obtendo uma longa durabilidade mesmo quando em contato com solo e umidade, é apropriada para a construção naval e civil, pilares de pontes, assoalhos de vagões e de carrocerias, carvão e lenha (Lorenzi, 2002).

***Hymenolobium petraum* (angelim pedra)**

Vasos solitários em maioria e múltiplos, com pouca distribuição difusa ($4\text{-}7\text{ mm}^2$); diâmetro médio a largos ($128\text{-}312\text{ }\mu\text{m}$); Parênquima axial confluyente e tilose ausente (Figura 8-A). Raio estratificado com presença de unisseriados, bisseriados e trisseriados predominantes; numerosos ($13\text{-}15$ por mm linear); alta ($204\text{-}455\text{ }\mu\text{m}$ de altura) (Figura 8-B). Raios heterogêneos, formado por uma fileiras de células procumbentes (Figura 8-C).

Figura 8. Corte da seção transversal (A), tangencial (B) e radial (C) da espécie *Hymenolobium petraum*



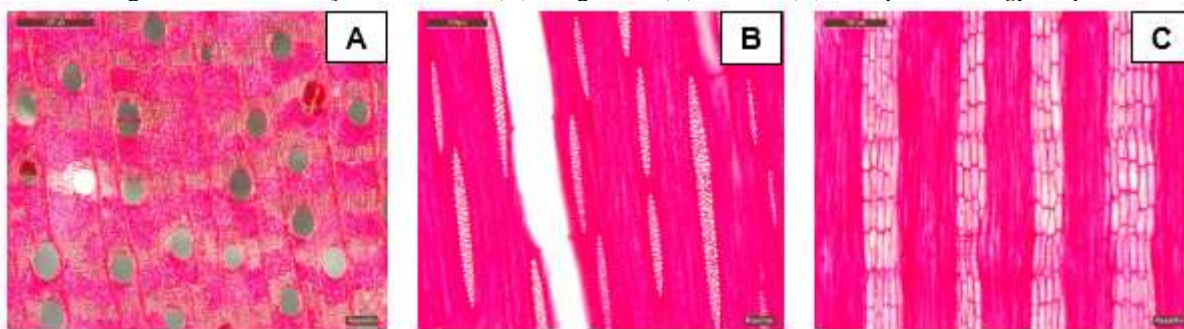
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Baseando-se em Nogueira, et. al. (2000), o angelim é ótimo para construções civis leves e pesadas, navais e confecção de móveis, além de servir como material para construção de assoalhos, lambris, painéis, escadas, portas, pisos ou móveis pesados como tampos de grandes mesas.

***Peltogyne* sp. (rouxinho)**

Vasos solitários e múltiplos, sendo distribuição difusa (22-28 mm²); médios (97-164 µm de diâmetro). Parênquima axial paratraqueal confluyente e tilose presente (Figura 9-A). Raio sem estratificação; multisseriados; pouco abundantes (10-12 por mm linear); pequenos a grandes (146-726 µm de altura) (Figura 9-B). Raios heterogêneos, formado exclusivamente por células procumbentes (Figura 9-C).

Figura 9. Corte da seção transversal (A), tangencial (B) e radial (C) da espécie *Peltogyne* sp



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Fundamentado pela sua grande quantidade de extrativo, sendo utilizado como mobiliários de alta qualidade, peças torneadas e embarcações. Pode-se empregar o seu uso em construções civis em diversas aplicações, entre pesadas externas (dormentes ferroviários, cruzetas e estacas), pesadas internas (tesouras e caibros), leves e esquadrias (porta, batentes e janelas), leves internas (lambris e forros) e em assoalhos, tábuas, tacos e parquetes. (IPT, 2017).

Caracterização Química e Espectroscópica

Os valores da caracterização química das espécies avaliadas encontram-se na Tabela 2. Observa-se que a partir dos valores encontrados, não existe um padrão de comportamento em relação aos caracteres obtidos, mesmo sendo madeiras da mesma família.

Pode-se observar que a amburana apresentou o maior percentual de extrativos ($\pm 24\%$), lignina ($\pm 29\%$) e holocelulose ($\pm 44\%$) dentre as espécies em estudo, índice geralmente observado na literatura especializada. No entanto, Leão (2006) observou também um elevado teor de extrativo na amburana, o que possibilita que se estabeleça uma comparação entre o valor obtido na análise e na literatura.

Observou-se que os valores de extrativos e cinzas foram mais satisfatórios no faveiro, visto que as demais espécies, encontraram uma relação negativa entre lignina e cinzas em que ao Trugilho *et al.* (1996) estudar *Eucalyptus saligna*, relatou que é possível o fato de que as amostras estudadas serem relativamente jovens e o teor de lignina ainda não ter atingido a estabilidade.

Porém, vale ressaltar que os dados obtidos a partir da relação S/G são promissores, pensando na identificação das mesmas, pois apresentaram valores como por exemplo na amburana de 1,24% a 1,23%, seguindo um padrão de comportamento bem discrepantes entre as espécies e bem próximo dentro da mesma espécie. Entretanto o angelim-pedra o rouxinho apresentaram valores qualitativos, porém não satisfatórios necessitando-se de uma análise para predição.

Tabela 2. Composição química das espécies avaliadas em duplicata

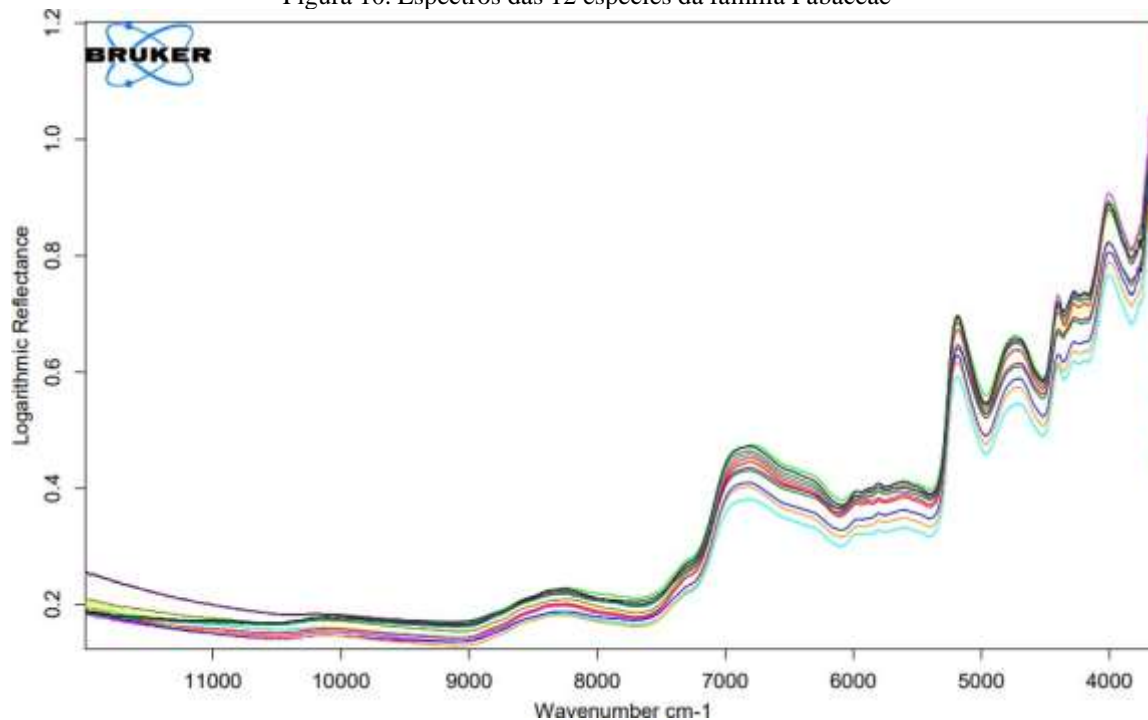
Espécie-Árvore	Composição química (%)						Relação S/G
	Extrativos totais	Lignina insolúvel	Lignina solúvel	Lignina total	Holocelulose	Cinzas	
amburana-01	24,73	27,32	2,34	29,66	44,27	1,34	1,24
amburana-02	24,69	27,45	2,2	29,65	44,27	1,39	1,23
fava de anta-01	8,60	34,19	0,73	34,91	55,71	0,78	0,58
fava de anta-02	8,20	33,98	0,78	34,76	56,34	0,7	0,55
pau óleo-01	17,42	26,95	1,90	28,85	52,37	1,36	1,55
pau óleo-02	17,02	26,45	2,1	28,55	53,18	1,25	1,52
faveiro-01	11,43	31,63	2,08	33,71	54,83	0,03	1,05
faveiro-02	11,42	31,12	2,01	33,13	55,43	0,02	1,01
angelim pedra-01	7,42	31,53	1,04	32,57	59,54	0,47	0,54
angelim pedra-02	7,16	34,57	1,31	35,87	56,26	0,71	0,65
rouxinho-01	12,98	28,45	2,22	30,67	56,01	0,34	1,57
rouxinho-02	13,21	28,01	1,99	29,99	55,34	1,46	1,50

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A Figura 10 ilustra os espectros tratados no software, obtidos durante as leituras no equipamento NIRS, entre os comprimentos de onda na faixa de 1100 até 2500 cm⁻¹, sendo apresentados os 12 espectros das amostras analisadas.

Cada espectro foi analisado para correlacionar com os valores de referência e preditos. Observa-se que as variações dos espectros neste pico foram similares pelo fato das espécies serem da mesma família o que explicaria algumas das diferenças entre as madeiras pela alta correlação com os principais constituintes químicos da madeira.

Figura 10. Espectros das 12 espécies da família Fabaceae



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Na Tabela 3 encontram-se os valores de validação obtidos para as variáveis analisadas. O coeficiente de determinação (R^2) foi considerado elevado e satisfatórios para as variáveis extrativos totais e holocelulose, com taxas superiores a 90%. Os dados de RMSEP foram considerados baixos para a variável lignina solúvel, holocelulose, cinzas e S/G. Baseado nos dois parâmetros observou-se que os melhores modelos foram para extrativos totais e holocelulose.

Tabela 3. Validação das análises realizada pelo NIRS (%)

Análises	R^2	RMSEP
Extrativos totais	93,21	1,62
Lignina insolúvel	27,55	2,26
Lignina solúvel	54,47	0,469
Lignina total	38,00	1,71
Holocelulose	91,04	0,81
Cinzas	60,47	0,356
S/G	53,24	0,273

R^2 = grau de associação entre os valores obtidos nas análises tradicionais e os valores preditos.

RMSEP = erro da predição, comparando os resultados preditos e os novos conjuntos (validação externa).

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Para a variável lignina insolúvel, lignina solúvel, lignina total, cinzas e S/G é recomendável a inserção de maior número de amostras para melhor ajuste do modelo e posterior predição.

Na Tabela 4 encontram-se os dados de referência e preditos para as variáveis que apresentaram os melhores ajustes de predição para as 6 espécies da família Fabaceae.

Em que Zhou *et al.* (2015) demonstram em seus estudos que espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS), quando comparada as análises químicas convencionais da madeira, apresentam altos coeficientes de correlação na predição do teor de holocelulose de diferentes folhosas ($R^2 = 0,93$), modelos com boas calibrações para holocelulose em amostras de *Eucalyptus dunnii*. No geral os valores preditos para a variável holocelulose foram melhores. Podendo esta ser uma variável de maior estudo para predição.

Tabela 4. Valores de referência e preditos pelo NIR e Erro entre as espécies

Espécie-Árvore	Extrativos			Holocelulose		
	Referência	Preditos	E.R (%)	Referência	Preditos	E.R (%)
amburana-01	24,73	26,04	-5,30	44,27	43,25	2,30
amburana-02	24,69	24,46	0,93	44,27	43,94	0,75
fava de anta-01	8,60	10,05	-16,86	55,71	56,41	-1,26
fava de anta-02	8,20	9,807	-19,60	56,34	56,56	-0,39
pau óleo-01	17,42	16,39	5,91	52,37	52,42	-0,10
pau óleo-02	17,02	16,39	3,70	53,18	50,78	4,51
faveiro-01	11,43	10,77	5,77	54,83	54,79	0,07
faveiro-02	11,42	10,61	7,09	55,43	55,15	0,51
angelim pedra-01	7,42	10,03	-35,18	59,54	59,36	0,30
angelim pedra-02	7,16	10,21	-42,60	56,26	53,13	5,56
rouxinho-01	12,98	13,73	-5,78	56,01	57,71	-3,04
rouxinho-02	13,21	14,74	-11,58	55,34	55,14	0,36

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Observa-se que o erro relativo da variável extrativo foi baixo para a árvore 02 da espécie amburana (0,93%) e pau-óleo (3,70%). Para a variável holocelulose os menores valores foram para a árvore 02 da espécie amburana (0,75%) e fava-de-anta (-0,39%), árvore 01 para o pau-óleo (-0,10), as duas árvores do faveiro (0,07% e 0,51%), árvore 01 da espécie angelim pedra (0,30%) e árvore 02 do rouxinho (0,36%).

CONCLUSÃO

A caracterização química predita por NIRS, demonstrou a eficiência para a determinação do teor de holocelulose e de extrativos totais na serragem. Para as demais características químicas os modelos precisam de melhores ajustes para predições futuras.

A etapa de validação foi de suma importância, já que os resultados indicaram que o modelo é adequado para efetuar a determinação de parâmetros para predições futura, uma vez que predição para algumas variáveis das propriedades da madeira (serragens) com a espectroscopia no infravermelho próximo apresentaram elevadas correlações e podem garantir a caracterização de amostras de madeira para auxílio na identificação.

O estudo demonstrou que os dados contribuirão na caracterização e classificação das madeiras, auxiliando na tomada de decisão de órgãos governamentais e outros institutos, fornecendo corretamente o conhecimento das espécies do nosso bioma.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-11941: **Madeira – determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7190. **Projetos de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro - RJ, 1997.
- ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (ABCP.) **Normas Técnicas. M 4/68**, São Paulo, 1974.
- BALDIN, T.; MARCHIORI, J.N.C. **Anatomia da madeira de *Albizia inundata* (Mart.) Barneby & J.W. Grimes (Fabaceae)**. Departamento de Ciências Florestais. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- BALDIN, T.; TALGATTI, M.; SILVEIRA, A. G.; MARCHIORI, J. N. C.; SANTOS, G. A.; SANTOS, O. P.; VALENTE, B. M. R. T. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose por espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS)**. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias (UFMG/ICA). Montes Claros – MG, 2020.
- BALDIN, T.; TALGATTI, M.; SILVEIRA, A. G.; SANTOS, G. A.; SANTOS, O. P.; VALENTE, B. M. R. T. **Modelos NIRS para as características químicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage**. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias (UFMG/ICA). Montes Claros – MG, 2020.
- BENITES, P.K.R.M.; GOUVEA, A.F.G.; CARVALHO, A.M.M.L.; SILVA, F.C. **Caracterização anatômica das fibras de oito espécies florestais do Cerrado de Mato Grosso do Sul para a produção de papel**. Ciência da Madeira, 2015. BURGER, M. L.; RICHTER, H. G. Anatomia da madeira. São Paulo: Nobel. 154p.1991.
- BOTOSSO, P. C. **Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para seu reconhecimento**. Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2011. 65 p. (Documentos 194). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/894373>>. 2018.
- CARVALHO, J. B. M.; O Norte e a indústria de óleos vegetais sob o aspecto técnico-econômico; Ministério da Agricultura; Rio de Janeiro, 1942.
- CARVALHO, P. E. R.; Espécies florestais brasileiras; recomendações silviculturais, potencialidades e uso de madeira; EMBRAPA/CNPQ: Brasília, 1994, p. 640.
- COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental – MG. **Deliberação Normativa COPAM n° 227**, Minas Gerais, 2018.

- COSTA, A. S. **Uso da espectroscopia na região do infravermelho próximo para prever propriedades da madeira de *Corymbia***. Universidade Federal de Lavras (UFLA) – Lavras. Minas Gerais, 2017.
- DENCE, C.W., LIN, S.Y. General structural features of lignin. In: Lin, S.Y., Dence, C.W. (Eds.). **Methods in Lignin Chemistry**. Springer Series in Wood Science, 1992.
- DUARTE, L. C.; JUCHEM, P. L.; PULZ, G. M.; BRUM, T. M. M.; CHODUR, N.; LICCARDO, A.; FISCHER, A. C.; ACAUAN, R. B. **Aplicações de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e Sistema de energia dispersiva (EDS) no estudo de gemas: exemplos brasileiros**. Pesquisas em Geociências, v. 30, n. 2, p. 3-15, 2003.
- DUTRA JUNIOR, A. U. **Procedimento padrão para fiscalização de madeira empregando-se tecnologia digital e uso dos resultados no campo de polícia preventiva e judiciária**. 2010. 149 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Segurança e Ordem Pública) – Centro de Altos Estudos de Segurança “Cel PM Nelson Freire Terra” – Polícia Militar do Estado de São Paulo, São Paulo, 2010.
- FAO - **FAO YEARBOOK**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1989.
- FRANCO, M.P. **Efeito da substituição do potássio pelo sódio em árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, visando a expansão das plantações florestais sob condições de estresse hídrico**. 2014. 200p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Escola Superior de Agricultura, Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.
- FILHO, H. B. KRUG, F. J. ZAGATTO, E. A. G. ROCHA, F. R. P. **Espectrofotometria no ultravioleta e visível**. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. USP, 2010. Apostila de Espectrofotometria. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4275_863/mod_resource/content/1/Apostila-espectrofotometria.pdf>. 2019.
- GIULIETTI, A.M., Harley, R.M., Queiroz, L.P., Wanderley, M.G. & Berg, C.V.B. **Biodiversidade e conservação das plantas no Brasil**. Megadiversidade 1: 52-60., 2005.
- GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWWIG, C. H. (Eds) **Lignins**. New York: Wiley Interscience, 1971.
- GOMES, A. F. **Avaliação das características da madeira e da polpa de *Eucalyptus* mediante a aplicação de métodos não destrutivos na árvore viva**. Universidade Federal de Lavras (UFLA) – Lavras. Minas Gerais, 2007.
- GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. **Determinação do teor de lignina em material lenhoso: Método Klason modificado**. O Papel, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.
- HEIN, P. R. G.; PAKKANEN, H. K.; DOS SANTOS, A. A. **Challenges in the use of Near Infrared Spectroscopy for improving wood quality: A review**. Forest Systems, v 26, n. 3, p.10, 2017
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Informações sobre madeiras**. IPT, 2017. Disponível em: . Data de acesso: 18. jan. 2017.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMY – IAWA. **List of microscopic features for wood identification**. IAWA Bulletin, Leiden, 1989, p.226.

INZUNZA, O. N. Y. **Anatomia da madeira de nove espécies do gênero *Copaifera* (Leguminosae - Caesalpinioideae)**. Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1992.

JUNIOR, M.M.B.; MATOS, T.S.; ANDRADE, G.G.M.; MELO, L.E.L.; SILVA, C.B.R.; SOUZA, F.I. B.; SILVA, M.C.F. **Descrição anatômica e física das madeiras utilizadas na produção de embarcações, na cidade de Marabá-PA**. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira – EMBRAPA (UEPA), 2017.

LEAL, L. K. A. M. **Contribuição para validação do uso medicinal de *Amburana cearenses*: estudos farmacológicos com o isocampferídio e o amburosídeo**. Tese (Doutorado em Farmacologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

LOPES, C. R. E. **Discriminação de madeiras similares por NIRS e PLS-DA considerando variações de temperatura e umidade**. Universidade de Brasília. Instituto de Química Programa de Pós-Graduação em Química. Brasília, 2015.

LOPES, O. R. **Influência dos extrativos e da relação cerne/alburno nas análises da madeira por espectroscopia de infravermelho próximo para produção de celulose**. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2008.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas do Brasil**, vol. 1, 4ª edição - Nova Odessa, SP. Instituto Plantarum, 2002.

LOUREIRO, A.A.; **Essências madeireiras da Amazônia**, vol. 1; INPA/CNPq: Manaus, 1979, p. 125.

MACHADO, P.F.S.; MARCHIORI, J.N.C.; SIEGLOCH, A.M. **Anatomia da madeira de seis espécies exóticas do gênero *Acacia mill.* (Fabaceae)**. Departamento de Ciências Florestais. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

MAIA, G. N. **Árvores e Arbustos e Suas Utilidades**. São Paulo: D & Z Computação Gráfica e Editora, 2004. 413 p.

MILAGRES, F. R., GOMIDE, J. L., MAGATON, A., & FANTUZZI NETO, H. Influência da idade na geração de modelos de espectroscopia NIR, para predição de propriedades da madeira de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, 37(6), 1165-1173, 2013.

MARCHIORI, J. N. C.; BRUM, E. T. **Anatomia da madeira do guamirim-facho, *Calypttranthes concinna* DC**. Ciência Rural, Santa Maria, v.27, n.2, p.217-222, 1997.

MARCHIORI, J.N.C; MACHADO, P.F.S. **Anatomia do lenho em espécies SulBrasileiras da série *Stipellares* Benth. (*Mimosa l.* – Fabaceae)**. Departamento de Ciências Florestais. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

MARCHESE, N. R.; LUNKES, A. M.; PRADO, N. V.; SANTOS, E. C.; HASHIMOTO, E. H. **Espectroscopia NIR para análise da qualidade de soja inativada termicamente**. Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

MUNIZ, G. I. B.; MAGALHÃES, W. L. E.; CARNEIRO, M. E.; VIANA, L. C. **Fundamentos e estado da arte da espectroscopia no infravermelho próximo no setor de base florestal**. Departamento de

Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Santa Maria - Curitiba, v. 22, n. 4, p. 865-875, out.-dez., 2012.

NISGOSKI, S. **Identificação e caracterização anatômica macroscópica das principais espécies utilizadas para laminação na região de Curitiba- PR.** 1999. 113 p. Dissertação. (Mestre em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

NOCE, R., SILVA, M. L.; CARVALHO, R. M. M. A.; SOARES, T. S. Concentração das exportações no mercado internacional de madeira serrada. **Revista Árvore**, v. 29, nº 3, p. 431 – 437, 2005.

NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S.; CARVALHO, A.C.; **Indicação e aplicação do angelim pedra e itauba na construção civil.** São Carlos, SP. Anais do VII Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeiras, EESC/USP, 2000.

OLIVEIRA, E.; VITAL, B.R.; PIMENTA, A.S.; LUCIA, R.M.D.; LADEIRA, A.M.M.; CARNEIRO, A.C.O. **Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.** Departamento de Engenharia Florestal da UFV, Viçosa, 2006.

OLIVEIRA, J. T. S.; SOUZA, L. C.; LUCIA, R. M. D.; SOUZA JÚNIOR, W. P. S. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.819-826, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622005000500017>. 2019.

PEREIRA, L. S. **Anatomia do lenho de cinco espécies da Família Leguminosae catalogadas na xiloteca da Embrapa Amazônia oriental para alimentação do banco de dados dessa coleção.** Graduação em Engenharia Florestal. Universidade do Estado do Pará. Belém, 2016.

PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; SHIMIZU, J. Y. **Características físicas, químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage.** Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2001. 4 p. (Embrapa Florestas – Circular Técnica, 50)

RISSI, N. T.; BRESSAN, J.; BORELLA, D. R.; PEREIRA, C. A. L.; LIBERA, L. D.; MELO, R. R. Uso da colorimetria como ferramenta para identificação de espécies tropicais. In: 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2014, Cuiabá. **Anais ...** Cuiabá: Metallum, 2014. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/21cbecimat/CD/PDF/404-022.pdf>>. 2019.

SANTIAGO, V. H. D. **Anatomia comparada do lenho do gênero *Pterodon* Vogel. (Fabaceae), voltada à taxonomia.** Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Florestal. Brasília – Distrito Federal, 2017.

SANTINI JUNIOR, L. **Descrição macroscópica e microscópica da madeira aplicada na identificação das principais espécies comercializadas no estado de São Paulo – Programas “São Paulo amigo da Amazônia” e “Cadmadeira”.** 273 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2013.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado.** 2008. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2008

SCHIMLECK, L. R.; DORAN, J. C.; RIMBAWANTO, A. **Near infrared spectroscopy for cost-effective screening of foliar oil characteristics in a *Melaleuca cajuputi* breeding population.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51: 2433-2437. Doi: <https://doi.org/10.1021/jf020981u>. 2003.

SILVA, J. C.; MATOS, J. L. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; EVANGELISTA, W. V. Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, V. 11, n. 3, p. 455-460, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n3/a13v29n3.pdf>>. 2019.

SJOSTROM, E. **Wood chemistry: Fundamentals and Applications**. 1st. Gulf Professional Publishing, 1993.

SOARES, L. F.; SILVA, D. C.; BERGO, M. C. J.; CORADIN, V. T. R.; BRAGA, J. W. B.; PASTORE, T. C. M. **AVALIAÇÃO DE ESPECTRÔMETRO NIR PORTÁTIL E PLS-DA PARA A DISCRIMINAÇÃO DE SEIS ESPÉCIES SIMILARES DE MADEIRAS AMAZÔNICAS.** Laboratório de Produtos Florestais, Serviço Florestal Brasileiro. Brasília - DF, 2017.

TAPPI T 264 cm-97. **Preparation of wood for chemical analysis.** Atlanta: Tappi Press, 1997.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. TAPPI test methods T 264 om-88: **Preparation of wood for chemical analysis.** Atlanta: Tappi Technology Park, 1996.

THECHINICAL ASSOCIATION OF THE PULP PAPER INDUSTRY (TAPPI). **Tappitest methods:** 1992-1993. Atlanta-GA, 1992.

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

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L.M. **Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*.** Revista Cerne, Lavras, v. 2 n. 1. p. 94-111. 1996.

WATSON, L. & DALLWITZ, M.J. **The families offlowering plants: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval.** Disponível em <http://delta-intkey.com>, 2009.

ZHOU, C., JIANG, W., VIA, B. K., CHETTY, P. M., & SWAIN, T. **Monitoring the chemistry and monosaccharide ratio of *Eucalyptus dunnii* wood by near infrared spectroscopy.** Journal of Near Infrared Spectroscopy, 24(6), 537-548, 2016.