



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA

**Métodos de identificação em tempo real de espécies de *Handroanthus*
Mattos da Amazônia por meio da anatomia da madeira, morfologia foliar
e espectroscopia do infravermelho próximo.**

Elisa Palhares de Souza

Orientadora: Prof^a Dr^a Júlia Sonsin Oliveira

Brasília – DF

2022



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA

Métodos de identificação em tempo real de espécies de *Handroanthus* Mattos da Amazônia por meio da anatomia da madeira, morfologia foliar e espectroscopia do infravermelho próximo.

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade de Brasília como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Botânica.

Discente: Elisa Palhares de Souza

Orientadora: Prof^a Dr^a Júlia Sonsin Oliveira

Brasília, 2022

Agradecimentos

Ao Laboratório de Produtos Florestais, Serviço Florestal Brasileiro, Capes e UnB pela estrutura e recursos financeiros e materiais disponibilizados para realização desta pesquisa.

Aos coordenadores do LPF, Divino (2020-2021) e Fernando (2022), e às equipes das áreas de Anatomia e Química pelo apoio, compreensão e auxílio durante o desenvolvimento do trabalho.

À minha orientadora, Júlia Sonsin, pela disponibilidade, paciência e todos os valiosos ensinamentos. Às professoras Claudia Barros, Silvana Nisgoski, Cássia Munhoz, Vera Coradin e prof. Thomas Williams pelas importantes contribuições nas fases de projeto e qualificação.

À UnB e ao Programa de Pós-Graduação em Botânica pelo apoio e oportunidade. Aos professores e técnicos do Departamento de Botânica, em especial à técnica Daniela e professora Regina Oliveira, curadora do herbário UB, professores Christopher Fagg, Daniela Zappi, Micheline Silva e demais professores de anatomia e taxonomia vegetal.

Às colegas da Botânica que compartilharam comigo esse desafio de passar pela pós-graduação em meio a pandemia, e me ajudaram nos mais diversos momentos. Em especial à Raiana, Cinthia, Hellen, Estela, Leny, Amanda, Raniely e Ana Gabriela, obrigada por terem feito parte dessa jornada! À Beatriz pela imensa ajuda na identificação das “biggs”.

Aos colegas de trabalho, amigos e amigas, Anna Sofya, Luiz Fernando, Alexandre, Juliana, Tereza, Alessandro, Helder e à todos do LPF que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos colegas do laboratório AQQUA (Automação, Quimiometria e Química Ambiental) do Instituto de Química da UnB, Hugo, Daniele e professor Jez pela disponibilidade em participarem deste trabalho.

Aos colegas das Unidades Regionais do SFB em Santarém (PA) e Porto Velho (RO), por todo apoio nas coletas de campo nas Flonas de Altamira e Jamari, respectivamente. Aos escaladores Rafael e Cidinho e aos técnicos das concessionárias Patauá Florestal e Madeflona, pelo apoio, disposição, coragem e empenho, essenciais durante o trabalho na floresta.

Aos pesquisadores e curadores das xilotecas do Museu Paraense Emílio Goeldi, do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, em especial aos pesquisadores Mario Jardim, Cláudia Barros, Rafaela Forzza, Maria José Miranda e Ricardo Pereira.

À minha querida e amada família pelo carinho, apoio e compreensão que foram fundamentais para a realização deste trabalho. Muito obrigada!

Lista de tabelas

Pág.

Capítulo 1 – Distinção de espécies de Ipê (*Handroanthus*) da Amazônia por meio da anatomia macroscópica da madeira e morfologia foliar

- Tabela 1** - Dados e coordenadas das amostras de *Handroanthus* coletadas nas Florestas Nacionais de Altamira (PA) e Jamari (RO) com os respectivos registros (Reg) na xiloteca do LPF (FPBw) e herbário da UnB (UB). Altura (Alt); Fuste (Fus); diâmetro a altura do peito (DAP)..... 38
- Tabela 2** - Quantidade de amostras de madeira de cinco espécies de *Handroanthus*, provenientes das xilotecas das seguintes instituições: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Laboratório de Produtos Florestais (LPF) e Museu Paraense Emílio Goeldi (MG) 39
- Tabela 3** - Amostras de madeira de *Handroanthus* selecionadas para análises quantitativas e descrição anatômica das espécies, registradas nas xilotecas do Laboratório de Produtos Florestais (FPBw), Museu Paraense Emílio Goeldi (MGw), Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (RBw), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (BCTw)..... 40
- Tabela 4** - Exsicatas analisadas, pertencentes ao herbário da Universidade de Brasília (UB) e à coleção de duplicatas do Laboratório de Produtos Florestais (LPF)..... 41
- Tabela 5** - Características gerais e anatômicas macroscópicas das espécies *Handroanthus barbatus* (Hbar), *Handroanthus capitatus* (Hcap), *Handroanthus impetiginosus* (Himp), *Handroanthus incanus* (Hinc) e *Handroanthus serratifolius* (Hser). Classificação: mais predominante (1) para o menos predominante (5). X = presença 47
- Tabela 6** - Dados quantitativos para as cinco espécies de *Handroanthus* com as médias (M), mínimo e máximo (mín-máx) e desvio padrão (DP). Caracteres avaliados: diâmetro de vasos (DiV), densidade de vasos (DeV), largura de raios (LR), altura de raios (AR), densidade de raios (DeR), listras de estratificação por mm axial (LE) e área de parênquima axial (AP) em 0,1mm². As médias com as mesmas letras nas linhas não diferem estatisticamente nos testes ANOVA e Tukey ($p < 0,05$) 51
- Tabela 7** - Chave de identificação dicotômica para as espécies *Handroanthus barbatus*, *H. capitatus*, *H. impetiginosus*, *H. incanus* e *H. serratifolius*..... 54

Tabela 8 - Características morfológicas das folhas que diferem as exsicatas avaliadas das espécies *Handroanthus impetiginosus* e *Handroanthus serratifolius*. *Teste T ($p < 0,05$) 56

Tabela 9 - Chave de identificação de múltiplo acesso para as espécies *Handroanthus impetiginosus* e *Handroanthus serratifolius* utilizando características de madeira e folha..... 60

Anexo I - Matriz de dados usada para análise de agrupamento, com as características das madeiras de *Handroanthus barbatus* (Hbar), *H. capitatus* (Hcap), *H. impetiginosus* (Himp), *H. incanus* (Hinc) e *H. serratifolius* (Hser), sendo os dados binários 1= presença, 0= ausência..... 72

Anexo II - Matriz de dados usada para a análise de agrupamento, com as características morfológicas das folhas de *Handroanthus impetiginosus* (Himp) e *Handroanthus serratifolius* (Hser), sendo os dados binários 1= presença, 0= ausência 75

Anexo III - Matriz de dados usada para a análise de agrupamento, com as características anatômicas da madeira e morfológicas das folhas de *Handroanthus impetiginosus* (Himp) e *Handroanthus serratifolius* (Hser), sendo os dados binários 1= presença, 0= ausência..... 76

Capítulo 2 – O uso de NIRS como uma ferramenta em potencial para identificação em tempo real de ipês: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, *Handroanthus incanus* (A.H.Gentry) S.Grose e *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose.

Tabela 1 - Quantidade de espectros coletados nas amostras de madeira de cinco espécies de *Handroanthus* nas superfícies transversal e longitudinal tangencial..... 86

Tabela 2 - Resultado das análises do conjunto de calibração e validação nos modelos PLS-DA das espécies *Handroanthus serratifolius*, *Handroanthus impetiginosus* e *Handroanthus incanus*. FP (Falso Positivo), FN (Falso Negativo), VP (Verdadeiro Positivo), VN (Verdadeiro Negativo), TFP (Taxa de Falso Positivo), TFN (Taxa de Falso Negativo) 92

Lista de figuras

Pág.

Capítulo 1 – Distinção de espécies de Ipê (*Handroanthus*) da Amazônia por meio da anatomia macroscópica da madeira e morfologia foliar

Figura 1 - Localização geográfica das coletas realizadas no município de Itaituba (PA) em área da Floresta Nacional de Altamira e no município de Itapuã do Oeste (RO) em área da Floresta Nacional do Jamari.....	38
Figura 2 – Seções transversal e longitudinal tangencial de <i>Handroanthus impetiginosus</i> (A, B) e <i>Handroanthus serratifolius</i> (C, D). Escala = 1mm.....	49
Figura 3 - Seções transversal e longitudinal tangencial de <i>Handroanthus barbatus</i> (A, B), <i>Handroanthus capitatus</i> (C, D) e <i>Handroanthus incanus</i> (E, F). Escala = 1mm.....	50
Figura 4 - Análise de componentes principais (PCA) com as variáveis quantitativas: diâmetro de vaso (DV), densidade de vasos (FV), altura de raio (AR), largura de raio (LR), densidade de raios (FR) e área de parênquima (AP), para as espécies <i>Handroanthus barbatus</i> (Hbar), <i>H. capitatus</i> (Hcap), <i>H. impetiginosus</i> (Himp), <i>H. incanus</i> (Hinc) e <i>H. serratifolius</i> (Hser). Gráficos Scatter Plot (A) e 3D Scatter (B).....	52
Figura 5 - Índice de similaridade de Jaccard utilizando caracteres gerais e anatômicos da madeira, entre indivíduos das espécies <i>Handroanthus barbatus</i> (Hbar), <i>H. capitatus</i> (Hcap), <i>H. impetiginosus</i> (Himp), <i>H. incanus</i> (Hinc) e <i>H. serratifolius</i> (Hser).....	53
Figura 6 - Características morfológicas das folhas de <i>H. impetiginosus</i> (A e D) e <i>H. serratifolius</i> (B e C), com destaque para A: domácias do tipo “tufo de pelos” formadas por tricomas simples (seta branca), B: domácias do tipo cripta (seta branca) e verso da glândula pateliforme na face abaxial (seta preta), C: margem serreada dos folíolos (seta preta), D: glândulas pateliformes na face abaxial. Escalas: 1mm (A e B), 500µm (D)	57
Figura 7 - Análise de agrupamento baseado no coeficiente de similaridade de Jaccard, entre as espécies <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Himp) e <i>H. serratifolius</i> (Hser), considerando apenas as características das exsiccatas.....	58

Figura 8 - Análise de agrupamento baseado no coeficiente de similaridade de Jaccard, entre as espécies *Handroanthus impetiginosus* (Himp) e *Handroanthus serratifolius* (Hser), considerando características de madeira e folhas..... 59

Capítulo 2 – O uso de NIRS como uma ferramenta em potencial para identificação em tempo real de ipês: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, *Handroanthus incanus* (A.H.Gentry) S.Grose e *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose.

Figura 1 – Espectros médios obtidos da face tangencial da madeira das espécies: *Handroanthus barbatus* (Hbar), *H. capitatus* (Hcap), *H. impetiginosus* (Himp), *H. incanus* (Hinc) e *H. serratifolius* (Hser)..... 87

Figura 2 – Análise de Componentes Principais (PCA) dos espectros obtidos na face tangencial das espécies *Handroanthus barbatus* (Hbar), *H. capitatus* (Hcap), *H. impetiginosus* (Himp), *H. incanus* (Hinc) e *H. serratifolius* (Hser)..... 88

Figura 3 – Gráficos dos valores de T² Hotelling e resíduos Q obtidos para o modelo PLS-DA para a discriminação das espécies *Handroanthus serratifolius* (♦), *H. impetiginosus* (■), *H. incanus* (▲), para o conjunto de calibração (A) e de validação (B). As espécies *H. capitatus* (▼) e *H. barbatus* (*) foram utilizadas para comparação na fase de validação do modelo..... 90

Figura 4 - Distribuição dos valores estimados do conjunto de calibração e validação para as espécies *Handroanthus serratifolius* (♦), classe 1, *H. impetiginosus* (■), classe 2, e *H. incanus* (▲), classe 3. As espécies *H. capitatus* (▼) e *H. barbatus* (*) foram utilizadas para comparação na fase de validação do modelo..... 91

Índice

	Pág.
Resumo	8
1. Introdução	9
1.1. Conhecimento e uso sustentável da floresta	10
1.2. A família Bignoniaceae	11
1.3. Gênero <i>Handroanthus</i> – Ipê	12
1.4. A importância da identificação botânica	16
1.5. Ferramentas de identificação de madeiras	18
2. Objetivos	22
2.1. Objetivo geral	22
2.2. Objetivos específicos	22
3. Referências bibliográficas	23
Capítulo 1 – Distinção de espécies de Ipê (<i>Handroanthus</i>) da Amazônia por meio da anatomia macroscópica da madeira e morfologia foliar	
1. Introdução	34
2. Materiais e métodos	37
3. Resultados	43
4. Discussão	60
5. Conclusão	65
6. Referências bibliográficas	66
7. Anexos	72
Capítulo 2 – O uso de NIRS como uma ferramenta em potencial para identificação em tempo real de ipês: <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos, <i>Handroanthus incanus</i> (A.H.Gentry) S.Grose e <i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S. Grose.	
1. Introdução	80
2. Materiais e métodos	83
3. Resultados e Discussão.....	86
4. Conclusão	93
5. Referências bibliográficas	94

Resumo

Os ipês são árvores dos gêneros *Handroanthus* e *Tabebuia* (Bignoniaceae), que ocorrem em todos os biomas brasileiros. Na região da Amazônia as madeiras do gênero *Handroanthus* estão entre as mais exploradas devido às suas propriedades tecnológicas. Muitas vezes durante a retirada da madeira na mata, a identificação da espécie está incorreta, prejudicando o conhecimento do que está sendo explorado e conseqüentemente a manutenção dos sistemas de manejo. A ausência dos órgãos reprodutivos dificulta a identificação das árvores, que deve ser realizada pelas folhas, porém, quando estas também não estão disponíveis, diferentes técnicas são utilizadas para identificação das espécies pela madeira, entre elas a sua anatomia e espectroscopia do infravermelho próximo (NIRS). O objetivo deste trabalho foi comparar anatomicamente o lenho de cinco espécies de *Handroanthus* e verificar a viabilidade de separação de duas espécies comerciais de ipês, *H. impetiginosus* e *H. serratifolius*, utilizando anatomia da madeira, morfologia foliar e NIRS. Para as análises anatômicas macroscópicas foram utilizadas 81 amostras das espécies: *H. barbatus*, *H. capitatus*, *H. impetiginosus*, *H. incanus* e *H. serratifolius*, provenientes de coletas e de xilotecas, preparadas e analisadas conforme a metodologia usual para anatomia da madeira. Os testes estatísticos realizados foram a análise de componentes principais (PCA), teste de normalidade, teste T de Student, análise de variância (ANOVA) seguida de teste Tukey e análise de agrupamento de Jaccard. Foram descritas as características morfológicas das folhas das espécies *H. impetiginosus* e *H. serratifolius*. Como resultado foram elaboradas duas chaves de identificação. Apesar da grande variação intraespecífica que ocorre entre as madeiras de *Handroanthus* foi verificado que há diferenças qualitativas e quantitativas que possibilitam a separação das espécies por meio da anatomia macroscópica. As principais características diagnósticas foram o parênquima axial e diâmetro de vaso. Além disso, foram observadas diferenças nas madeiras e folhas que permitem distinguir as espécies *H. impetiginosus* e *H. serratifolius*. Quanto às folhas, as características de margem foliar, tricomas e domácias foram mais significativas para separação das espécies. Para utilização da tecnologia NIRS, as amostras foram preparadas e os espectros obtidos por meio de equipamento portátil. Foram utilizados os pré-tratamentos escala automática, padronização normal de sinal e primeira derivada, e aplicada a análise dos componentes principais. Os melhores resultados foram obtidos com os espectros da face longitudinal da madeira, bem como uso do método PLS2-DA para desenvolvimento dos modelos. Os resultados deste trabalho mostraram que existe potencialidade da metodologia NIRS para discriminação de espécies de *Handroanthus*, porém há necessidade da criação de um banco de dados mais robusto para o desenvolvimento de um modelo mais representativo.

1. Introdução

A Amazônia é o maior e mais diverso bioma brasileiro, com uma área de 4,2 milhões de km², correspondendo a 49,3% do território nacional (Brasil, 2019) e abrigando um terço das florestas tropicais do planeta. Estima-se que há em torno de 16 mil espécies de árvores na região amazônica (Luize et al., 2018), o que a coloca como importante fonte de matéria prima para produtos madeireiros e não madeireiros, tanto para o Brasil quanto no comércio internacional.

Os ecossistemas florestais são importante fonte de subsistência para milhões de pessoas no mundo, contribuem para o desenvolvimento econômico e são importante fonte e sumidouro de carbono, contribuindo para regulação do clima global (Köhl et al., 2015). Além dos produtos madeireiros, a floresta representa fonte de subsistência a pessoas que vivem em áreas próximas, fornecendo alimentos, combustível, medicamentos e outros produtos não madeireiros (Angelsen et al., 2014).

Além do aspecto econômico e social, as florestas tropicais, como a Floresta Amazônica, apresentam importância ecológica e ambiental, haja vista sua ampla diversidade biológica, regulação climática, influência no regime de chuvas e estoques de carbono que evitam o agravamento do efeito estufa (Fearnside, 2006).

Um dos principais problemas enfrentados na região norte do país é o desmatamento, que tem aumentado continuamente desde 1991, sendo que os fatores que contribuem para essa prática têm variado ao longo do tempo e das regiões, apesar de iniciativas implementadas por meio de acordos internacionais e políticas públicas para conter a redução das florestas (Fearnside, 2006, 2017). Segundo dados de monitoramento de satélite (Projeto PRODES), a taxa de desmatamento na Amazônia aumentou 48% em 12 meses, chegando a 13.038 km² em 2021 (INPE, 2022).

Atividades como plantio de soja, criação de gado e comércio de madeiras ainda continuam agindo muitas vezes ilegalmente e contribuindo com o desmatamento (Carvalho et al. 2019). Entre os impactos gerados, estão incluídos perda de biodiversidade, alterações climáticas decorrentes de alterações no ciclo da água e emissão de gases de efeito estufa (Fearnside, 2006). Além disso, recentes empreendimentos de pavimentação entre outros grandes projetos de infraestrutura na região amazônica muitas vezes ignoram a importância dos estudos de impacto ambiental e outras medidas necessárias para proteção dos recursos naturais (Mataveli et al. 2021).

Além do desmatamento, o ecossistema amazônico é afetado também pela degradação, que pode ser causada pela exploração seletiva de espécies madeireiras no interior da floresta, uso do fogo, criação de fragmentos isolados e de bordas, entre outros (Matricardi et al., 2020). De acordo com estes mesmos autores, ao longo dos anos a degradação florestal tem se mostrado um tipo de

perturbação separada do desmatamento, apresentando inclusive um deslocamento geográfico para diferentes fronteiras.

A exploração seletiva e muitas vezes ilegal de madeira pode estar relacionada a fraudes e informações falsas. Segundo Wiedenhoeft et al. (2019), essas podem ser realizadas de diferentes formas na comercialização dos produtos florestais, não necessariamente são intencionais, e estão relacionadas a identificação botânica, fonte ou origem geográfica da madeira e o tipo de produto, por exemplo madeira sólida ou painel de partículas.

1.1. Conhecimento e uso sustentável da floresta

O incentivo à produção sustentável dos produtos madeireiros tornou-se uma importante ferramenta para conciliar o desenvolvimento econômico e a conservação dos recursos naturais. Entretanto, a fragilidade dos ecossistemas florestais na Amazônia indica a necessidade de estudos ecológicos e fitossociológicos para conhecimento da composição e distribuição florística e sua relação com as comunidades, para subsidiar o manejo e a conservação da flora nativa (Pinheiro et al., 2021). Segundo esses autores, o estudo de autoecologia das espécies comerciais associado à estrutura remanescente e a manutenção das árvores por classe de tamanho, tem que ser levado em consideração nos planos de manejo florestais para garantir a sustentabilidade das espécies florestais.

Como exemplo, duas espécies ameaçadas pelo mercado madeireiro, *Swietenia macrophylla* King. e *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.Grose, foram objeto de estudo de avaliação do enriquecimento de lacunas nos planos de manejo por meio de plantio, visando aumentar a produção e recuperação dessas árvores (Pinto et al., 2021). Os tratamentos mostraram resultados rentáveis em ciclos de corte entre 60 e 90 anos e, segundo os autores, o enriquecimento com plantio de mudas é uma ferramenta em potencial para conservação das espécies.

Segundo o trabalho de Terra et al. (2022), três espécies amazônicas de *Handroanthus* (*H. heptaphyllus*, *H. impetiginosus* e *H. serratifolius*) apresentaram as mais lentas taxas de crescimento, entre oito espécies usadas em restauração florestal na Amazônia Brasileira, levando mais de 100 anos para atingir o diâmetro médio de 40cm.

Outros estudos apresentaram suporte adicional às evidências de que os ciclos de corte atuais nos planos de manejo são impraticáveis, tanto ecologicamente quanto financeiramente, pois as práticas de manejo que manteriam os rendimentos sustentáveis de madeiras, na realidade podem afetar as perspectivas de lucro, uma vez que permitem o esgotamento demográfico de espécies de alto valor comercial (Richardson e Peres, 2016; Pinheiro et al., 2021).

Portanto, diante de estudos e comprovações de que muitas espécies podem estar ameaçadas pela forma como são exploradas atualmente (ver Pinto et al. 2021; Richardson e Peres 2016), ressalta-se a importância de se conhecer a floresta, ou seja, saber quais espécies ocorrem no bioma e sua fenologia. Para tanto, é imprescindível a correta identificação das espécies e utilização dos nomes científicos. O trabalho de Vieira et al. (2021) verificou que *Handroanthus serratifolius*, além de outras espécies comerciais como *Manilkara huberi* (Ducke) A.Chev., *Hymenaea courbaril* L. e *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez, são as mais exploradas na Amazônia e, portanto, necessitam de estudos ecológicos que auxiliem o seu manejo, pois o alto valor de suas madeiras pode levar a redução de suas populações a longo prazo. Conforme esses mesmos autores, *H. serratifolius*, embora seja classificada como de “menor preocupação” deve ser avaliada principalmente para assegurar sua perpetuidade na estrutura da floresta.

As madeiras conhecidas como ipês são espécies do gênero *Handroanthus* e *Tabebuia*, que pertencem à família Bignoniaceae, e ocorrem em todos os biomas brasileiros (Lohmann et al., 2020). Entretanto, as árvores dessas espécies, principalmente de *Handroanthus*, são mais exploradas na região da Amazônia por apresentarem maior porte e fornecerem assim madeira mais densa e de maior diâmetro.

1.2. A Família Bignoniaceae

As espécies da família Bignoniaceae ocorrem em florestas tropicais, com alguns representantes em regiões temperadas, sendo constituída principalmente por árvores, arbustos e lianas, e alguns grupos de herbáceas (Olmstead et al. 2009). Atualmente a família está distribuída em 82 gêneros e aproximadamente 860 espécies (Lohmann e Ulloa 2020), sendo que 418 espécies de 34 gêneros ocorrem no Brasil, e 201 espécies no bioma amazônico (Lohmann et al., 2020). Nesta família, encontra-se o gênero *Handroanthus*, pertencente ao grupo das tabebuias.

O clado das Tabebuias é endêmico das florestas neotropicais e contém 14 gêneros e 147 espécies. São todas árvores ou arbustos e compartilham a característica de folhas compostas palmadas, com exceção de poucas espécies nas quais houve redução do número de folíolos e se assemelham a folhas simples (Olmstead et al. 2009). No Brasil, esse grupo é representado por sete gêneros (*Handroanthus*, *Tabebuia*, *Zeyheria*, *Godmania*, *Paratecoma*, *Cybistax* e *Sparattosperma*) e 44 espécies, sendo a maioria distribuída por todo o território nacional (Lohmann et al., 2020).

Dados de anatomia da madeira de Bignoniaceae são muito utilizados entre os caracteres diagnósticos da família, sendo possível sustentar a distinção dos grupos em estudos de filogenética molecular (Pace et al., 2015). Segundo os mesmos autores, todas as espécies desse grupo apresentam

vasos pequenos a médios, associados ao parênquima axial vasicêntrico a aliforme, com curta a longa confluência. Além disso, apresentam estratificação dos elementos radiais e axiais e fibras não septadas (Pace et al., 2015).

Na família Bignoniaceae são reconhecidas oito tribos, entre elas Tecomeae, com aproximadamente 12 gêneros, conforme estudos de filogenia molecular realizados por Olmstead et al. (2009). As características da anatomia da madeira de 56 espécies de 11 gêneros, na época classificados todos como dessa tribo, foram analisadas por Santos (1990) para um trabalho de sistemática, e entre elas 35 espécies de *Tabebuia*.

Com base em estudos filogenéticos, o gênero *Tabebuia* foi dividido em três táxons distintos: *Handroanthus*, *Tabebuia* e *Roseodendron*, conforme proposto por Grose e Olmstead (2007). Com relação às características do lenho, o gênero *Handroanthus* se diferencia dos demais pela madeira mais dura e pesada, com densidade básica maior que 0,74g/cm³, grande quantidade do extrativo lapachol, e pontuações intervasculares muito largas, variando entre 7 e 14µm. Quanto às características das folhas de *Handroanthus*, estas são compostas, 3-9 folioladas, com folíolos estreitamente elípticos a amplamente ovados; os tricomas podem ser simples, bifurcados, estrelados, barbados ou dendróides, podendo cobrir densamente as folhas; pecíolo com cerca de 9 cm e pecíolo com cerca de 30 cm (Grose e Olmstead, 2007).

Santos (2017) realizou um trabalho de revisão sobre o antigo gênero *Tabebuia*, sob o ponto de vista da anatomia da madeira, corroborando com as publicações anteriores sobre a segregação do grupo em três gêneros distintos (*Handroanthus*, *Tabebuia* e *Roseodendron*). Verificou-se que há tendências anatômicas divergentes entre os três táxons, apesar da grande variação intraespecífica, que dificulta a identificação das madeiras. O tamanho das pontuações intervasculares, estratificação e largura dos raios e espessura da parede das fibras foram os caracteres com maior valor taxonômico, sendo as pontuações consideradas mais importantes para a taxonomia dos grupos analisados (Santos, 2017).

1.3. Gênero *Handroanthus* - Ipê

No Brasil foram registradas 27 espécies de *Handroanthus*, ocorrendo em todas as regiões e domínios fitogeográficos, sendo a maioria no Sudeste, biomas mata atlântica e cerrado (Lohmann, 2022). De acordo com a base de dados Flora do Brasil (2020), para a Amazônia foi registrada a ocorrência de oito espécies, entre elas *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos e *H. serratifolius*, conhecidas popularmente na região como ipê-roxo e ipê-amarelo, respectivamente, devido à coloração das flores.

A taxonomia de *Handroanthus* considera principalmente a observação dos órgãos reprodutivos das espécies. Poucos trabalhos foram realizados utilizando a anatomia e morfologia das folhas como subsídio à taxonomia de ipês, havendo dificuldade na distinção de espécies de *Handroanthus* e *Tabebuia* em estado vegetativo (Silva et al., 2009). No entanto, estes mesmos autores demonstraram que a anatomia da lâmina foliar e do pecíolo fornecem bons caracteres diagnósticos para a taxonomia dos ipês brasileiros. O estudo da anatomia das plântulas por Souza e Oliveira (2004) também possibilitou a distinção das espécies *Handroanthus impetiginosus* (sin. *Tabebuia avellanadae*) e *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos (sin. *Tabebuia chrysotricha*).

A identificação botânica das espécies do gênero *Handroanthus* pode ser realizada com o auxílio do extenso trabalho de Gentry (1992), que inclui as descrições, ilustrações e chaves de identificação de espécies da tribo Tecomeae (Bignoniaceae) com ocorrência nos Neotrópicos.

Com relação à anatomia da madeira de *Handroanthus* sp., foram encontrados alguns trabalhos visando a caracterização e distinção de espécies ornamentais ou medicinais. Como Agila et al. (2018) que distinguiram *H. serratifolius* de outras duas espécies de *Handroanthus* que ocorrem na região do Equador (*H. chrysanthus* e *H. billbergii*), por meio da análise microscópica da anatomia da madeira.

Leme (2016) também comparou a anatomia do lenho de *H. serratifolius*, porém com outras seis espécies de gêneros diferentes, todas com propriedades medicinais utilizadas no Brasil. As diferenças na anatomia da madeira de *H. impetiginosus* e *H. avellanadae* foram estudadas por Amado et al. (2015) a partir dos ramos de ambas as espécies que ocorrem no bioma cerrado.

As plantas conhecidas como ipês no Brasil pertencem aos gêneros *Handroanthus* e *Tabebuia*. As madeiras de algumas espécies de *Handroanthus* são as mais valiosas e exploradas atualmente, estando entre as dez mais comercializadas no Brasil, com o valor do metro cúbico chegando a US\$ 4.360,00 no mercado internacional este ano (Imaflora, 2021; Norman & Zunino, 2022).

Apesar de também serem conhecidas como ipês, as espécies do gênero *Tabebuia* não estão entre as madeiras comerciais brasileiras, pois a madeira é menos densa que em *Handroanthus*. Outras características que diferenciam as madeiras dos dois gêneros, são cerne e albúrnio indistintos e ausência de lapachol em *Tabebuia* (Grose & Olmstead, 2007).

As espécies *Handroanthus impetiginosus* e *H. serratifolius* são aquelas geralmente exploradas nos planos de manejo da Amazônia. A madeira dessas espécies é altamente valorizada devido às suas propriedades tecnológicas, como a alta densidade e resistência, e boa durabilidade natural, podendo ser utilizada para esquadrias, dormentes, estrutura de cobertura, pisos, estacas, esculturas, instrumentos musicais, entre outros (Melo e Camargos, 2016).

As espécies do gênero *Handroanthus* são também popularmente conhecidas como “pau d’arco”, pois sua madeira tem sido utilizada há séculos pelas populações indígenas para construção de arcos de caça (Paula e Alves, 2007). Além disso, essa madeira é considerada uma das melhores para construção de arcos de violino, devido às suas propriedades acústicas, químicas, físicas e mecânicas, conforme estudado por Longui et al. (2010). Apesar das características anatômicas não contribuírem, isoladamente, para identificar as tendências de qualidade potencial da madeira de ipê para os arcos, outras propriedades físicas, como velocidade de propagação sonora e módulo de elasticidade são fatores que interferem na avaliação de músicos e na qualidade dos instrumentos (Fomin, 2017).

Outra utilização da madeira e da casca dos ipês (*Handroanthus* sp.) é para uso medicinal, devido à presença do extrativo lapachol (Castellanos et al. 2009). Em um estudo comparativo sobre a quantidade de lapachol na madeira de quatro espécies de *Handroanthus* (*H. capitatus*, *H. impetiginosus*, *H. ochraceus* e *H. serratifolius*) foi evidenciado que esse gênero de ipês tem potencial para fornecer esse extrativo em escala comercial para as indústrias química e farmacêutica (Souza et al., 2020). A grande quantidade de lapachol também possibilita a utilização dos ipês para fabricação de preservativos de madeira, uma vez que foram considerados os extratos mais efetivos para reduzir a degradação por fungos de podridão parda (Rodrigues et al., 2012).

Entretanto, diante dos diversos usos possíveis para a madeira de *Handroanthus*, foi constatado nos últimos anos a redução na quantidade de espécies de ipês na Amazônia (Naves et al., 2020), e entre elas as espécies *Handroanthus impetiginosus* e *H. serratifolius* (Schulze et al., 2008). Ambas estão distribuídas por todo o bioma, onde estão as áreas de exploração florestal mais antigas, porém ocorrem em baixa densidade (Schulze et al., 2008). Segundo estes mesmos autores, considerando os estudos realizados sobre dinâmica populacional, abundância, capacidade de regeneração e taxas de exploração, foi possível concluir que essas duas espécies de ipês estão ameaçadas pelo mercado madeireiro, como foi o mogno nos anos 80 e 90, sendo necessária proteção adicional pela legislação.

Além dessas duas espécies, *Handroanthus incanus* também ocorre na região amazônica e em baixa densidade, com aproximadamente um indivíduo por hectare, conforme levantamento florístico realizado em uma Unidade de Manejo Florestal (UMF) da Floresta Nacional de Jamari, RO (Kerber et al., 2021).

De acordo com trabalho divulgado pelo Imaflora (2021), a extração de ipês (*Handroanthus*) na Amazônia mais que duplicou no período entre 2007 e 2019, atingindo cerca de 500 mil metros cúbicos, estando entre as dez espécies mais exploradas. Segundo dados divulgados este ano em relatório da Forest Trens, 96% dos ipês exportados da Amazônia entre 2017 e 2021 vieram do Brasil

e nesses cinco anos as vendas cresceram 76% em relação ao período de 2010-2016 (Norman & Zunino, 2022).

Este aumento na comercialização de produtos de ipês contribui para as ameaças às populações desta espécie na Amazônia. Considerando que a maior parte dos inventários florestais sugerem que a estrutura populacional de *Handroanthus* sp. é composta por poucos indivíduos jovens, em comparação às árvores maduras, e somado ao fato de a taxa de crescimento ser lenta, a literatura conclui que medidas especiais de manejo e conservação são necessárias para conservação dessas espécies (Imaflora, 2021).

Sendo assim, *Handroanthus impetiginosus* e *Handroanthus serratifolius* são foco de discussões a nível internacional, haja vista a iminente ameaça de extinção devido ao mercado madeireiro. Esses ipês, junto com mais 19 espécies de *Handroanthus* foram incluídos em 2020 na Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas, da União Internacional para Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (IUCN *Red List*, 2020), em praticamente todas as categorias, com exceção de “extinto”. *Handroanthus impetiginosus* foi classificado como quase ameaçado (NT), enquanto *H. serratifolius* encontra-se em perigo de extinção (EN). Apesar disso, essas espécies não estão sob nenhuma proteção de leis internacionais.

Neste contexto, e considerando os altos níveis de exploração de ipês no Brasil, há um movimento que já conta com alguns anos destinado a incluir espécies do gênero *Handroanthus* no Apêndice 2 da lista da Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Fauna e da Flora Silvestres Ameaçadas de Extinção (CITES). Como exemplo a proposta da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), apresentada na 18^o Conferência das Partes (CoP-18) da Convenção sobre Mudanças do Clima em 2012, para inclusão destas duas espécies na CITES (IUCN, 2019).

Além dessas duas espécies de *Handroanthus*, há registro de ocorrência de mais seis espécies desse gênero no bioma Amazônico (Lohmann, 2022), entre elas *H. barbatus*, *H. capitatus* e *H. incanus*. A primeira apresenta flores com corola rosa ou lilás (Noronha & Scudeller, 2011) enquanto as outras duas tem flores amarelas (Gentry, 1992; Costa et al, 2019), podendo ser confundidas com *H. impetiginosus* e *H. serratifolius* se não houver uma análise e observação mais acurada. A madeira de *H. barbatus* é utilizada na Amazônia Central na construção de casas e embarcações, sendo reconhecida, portanto, pela madeira mais densa e resistente (Noronha & Scudeller, 2011).

Assim, apesar de em muitos inventários florestais e planos de manejo constarem sempre as mesmas espécies de ipês (*H. impetiginosus* e *H. serratifolius*), existe a possibilidade de outras espécies também estarem sendo exploradas na Amazônia e comercializadas como ipês, já que

existem pelo menos mais seis na região. Deste modo, é importante que haja uma correta identificação das espécies e utilização de nomes científicos em toda a cadeia produtiva.

1.4. A importância da identificação botânica

A precisão no processo de identificação botânica é muito importante para a conservação das espécies. Em muitos casos pode ocorrer exploração de uma espécie rara, ou em vias de extinção, sendo que poderia haver outra capaz de originar um produto de qualidade similar e que poderia substituir e contribuir para preservação daquela espécie ameaçada (Martins-da-Silva et al., 2003). Além disso, segundo esses autores, caso as matrizes não sejam identificadas corretamente, pode ocorrer a seleção de indivíduos de espécies diferentes como se fossem do mesmo grupo, não assegurando dessa forma uma população mínima para a regeneração daquela espécie.

Esta questão se torna ainda mais relevante no caso da floresta amazônica, haja vista que, apesar de extremamente diversa, foi constatado que existe dominância de algumas espécies. Considerando a estimativa de 16.000 espécies arbóreas para este bioma, apenas 227 (1,4%) correspondem a metade das árvores da Amazônia (Steege et al., 2013). Deste modo, estes dados demonstram que existem mais de 10.000 espécies raras ou pouco conhecidas, e que estão potencialmente ameaçadas.

Além dos impactos na conservação da biodiversidade, os problemas e equívocos na identificação das espécies, muitas vezes causados pelo uso de nomenclatura popular, podem implicar em prejuízos econômicos no setor florestal e prejudicar a sustentabilidade dos sistemas de manejo (Lacerda et al., 2010).

Os inventários florestais auxiliam no conhecimento da flora amazônica e são a base para os planos de manejo utilizados para exploração madeireira. Entretanto, a identificação botânica muitas vezes é negligenciada e o reconhecimento das espécies alvo é frequentemente realizada por meio dos nomes populares pelos quais as árvores são conhecidas. A variação de nomes das espécies madeireiras é muito ampla na região da Amazônia, afetada por dialetos locais e características das espécies, que fazem parte do conhecimento popular (Cysneiros et al., 2018).

Conforme demonstrado por Camargos et al. (2001), que compilaram em um catálogo brasileiro cerca de quinze mil nomes comuns, para mais de quatro mil espécies, existem diversos nomes utilizados para a mesma espécie e/ou vários táxons conhecidos pelo mesmo nome vernacular, conforme também comprovado por Cysneiros et al. (2018). O ipê por exemplo é conhecido também por pau d'arco, ipeúna, peúva, piúva, pau-para-tudo, além de outros nomes populares dependendo da região.

No trabalho de Cysneiros et al. (2018) sobre as espécies comerciais atualmente exploradas em 10 planos de manejo da Amazônia brasileira, sendo parte deles nas Florestas Nacionais de Altamira (PA) e Jamari (RO), *Handroanthus* se destacou como um dos táxons com identificação incompleta, ou seja, geralmente as árvores são identificadas apenas a nível de gênero. As madeiras de ipê, juntamente com *Hymenolobium*, *Mezilaurus*, *Aspidosperma*, *Ocotea*, *Protium* e *Hymenaea*, apresentaram dificuldades na identificação das espécies, mas são consideradas pontos-chaves para o manejo florestal e, por possuírem mercado consolidado, sua identificação correta se torna essencial para evitar prejuízos, tanto econômicos quanto ambientais (Cysneiros et al., 2018).

Ao utilizar a nomenclatura popular, a transação comercial de um tipo de madeira pode corresponder na realidade a várias espécies diferentes, e às vezes até gêneros diferentes. Um exemplo é o caso do tauari, que no estado do Pará é comercializado com este nome, porém trata-se de madeiras de três gêneros diferentes: *Allantoma* sp., *Cariniana* sp. e *Couratari* sp. (Procópio e Secco, 2008; Bernal et al., 2011). Desta forma, as propriedades físicas e mecânicas, os dados tecnológicos, secagem, trabalhabilidade, durabilidade e uso da madeira podem ser diferentes.

A comercialização e exploração madeireira devem considerar as propriedades adequadas para o uso final, bem como se atentar para a permanência de espécies menos abundantes na região, assegurando assim a manutenção da diversidade e sustentabilidade da floresta. Para isso, além da identificação botânica das árvores em campo, é importante buscar a correta identificação das madeiras, por meio do nome científico.

Existem poucos mecanismos a nível internacional para combater o comércio ilegal de madeira. Nos últimos anos foram promulgadas leis e regulamentações de madeira na Europa, EUA e Austrália, como contribuições para proteção global das florestas (Koch et al., 2015). Estas normas proíbem a importação e comércio de madeira ilegal e exigem que produtos madeireiros sejam produzidos de acordo com a respectiva legislação nacional (Koch et al., 2015).

A CITES (do inglês *Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*), é um tratado que visa assegurar a proteção de espécies da fauna selvagem e flora, regulando o comércio internacional de mais de 35 mil espécies de plantas e animais e entre elas, mais de 600 espécies de árvores (UNODC, 2016). No entanto um dos maiores desafios para implementação da CITES é a correta identificação das espécies encontradas no comércio, requisito para combater a ilegalidade nas transações com madeiras (UNODC, 2016).

Na maioria dos casos a legislação requer identificação a nível de espécie, o que é uma limitação quando utilizada apenas a anatomia da madeira, sem as outras partes vegetativas e reprodutivas das árvores. De acordo com Gasson (2011) há uma incompatibilidade entre as expectativas da legislação e o mundo real, devido às limitações dos processos de identificação.

1.5. Ferramentas de identificação de madeiras

Existem atualmente diferentes ferramentas de identificação de madeiras, utilizadas tanto para o monitoramento e controle, quanto para fiscalização e combate ao comércio ilegal desse produto. Estes instrumentos se baseiam nas características inerentes da madeira e, conforme levantamento realizado por Dormontt et al. (2015), se dividem em métodos visuais (anatomia e dendrocronologia), químicos (espectrometria de massa, espectroscopia do infravermelho próximo, isótopos estáveis e radiocarbono) e genéticos (*DNA barcoding*, genética populacional e filogeografia e *DNA fingerprinting*).

A anatomia da madeira é uma área da botânica que estuda os diferentes elementos celulares do xilema secundário das plantas lenhosas. A quantidade, disposição e proporção das células que compõe a madeira, bem como os extrativos (orgânicos e inorgânicos), são características diretamente relacionadas com as propriedades físicas, químicas e mecânicas das madeiras (Burger e Richter, 1991; Florsheim et al., 2020).

Estes estudos de anatomia da madeira têm ampla aplicação e são importantes não somente para taxonomia e identificação de espécies de árvores, mas também para estudos de fisiologia, ecologia e tecnologia da madeira (Ferreira et al., 2021). Na ecologia por exemplo, existem diversos trabalhos que comparam as características anatômicas entre os diferentes ambientes nos quais as plantas se desenvolvem, para buscar compreender a influência de fatores externos na estrutura da madeira (Alves e Angyallossy, 2000, 2002; Fichtler e Worbes, 2012; Sonsin et al., 2012; Costa et al., 2020).

No processo de identificação realiza-se a comparação da amostra com um material de referência, ou seja, com as coleções de madeira que dispõe de espécimes previamente identificados por meio das exsicatas correspondentes. A coleta de árvores de forma correta, abrangendo todas as estruturas e com a devida conservação e tratamento do material coletado, é um requisito fundamental para construção de coleções de referência para os diversos estudos visando a identificação, que podem envolver outras áreas além da taxonomia, como genética e química (Gasson et al., 2021).

Os conhecimentos sobre anatomia também são utilizados para estudos com madeira carbonizada, tanto para identificação de carvão visando o monitoramento e fiscalização (Gonçalves et al., 2016; Perdigão et al., 2020; Zemke et al., 2020), quanto em pesquisas envolvendo arqueologia (Heydarian e Kouhpar, 2021).

Tendo em vista que, dependendo da espécie, muitas estruturas da madeira podem se manter preservadas ao longo do tempo, é possível também realizar estudos com objetos antigos. Alguns exemplos são pilares de madeiras encontrados em um sítio arqueológico no Maranhão que permitiram a identificação 171 estruturas (Gonçalves et al., 2021) e estátuas de madeira do Japão que datavam de um milênio e puderam ser identificadas para posterior estudos para aplicação da metodologia NIRS (Abe et al., 2020).

Quanto à identificação voltada ao monitoramento e controle, é essencial a disponibilização de informações como a de Brandes et al. (2020), que compilaram dados anatômicos do lenho de 29 espécies ameaçadas do Brasil, incluindo descrições, imagens e dados de referência. Recentemente foi divulgado um novo *software* para identificação macroscópica de 48 espécies de madeira italianas (Ruffinatto et al., 2020), bem como uma chave de identificação para espécies da Mata Atlântica (Brasil), baseada em anatomia macroscópica da madeira (Brandes et al, 2021) e atualização da chave interativa “Madeiras Comerciais do Brasil” (LPF, 2022). As chaves de identificação são importantes ferramentas para identificação de madeiras por meio da análise anatômica macroscópica, além de auxiliarem no monitoramento e controle do comércio madeireiro.

Sendo um requisito importante para monitoramento e controle da exploração e comércio de madeiras, os processos de identificação vêm sendo bastante estudados e divulgados, como por exemplo o Guia de Melhores Práticas para Identificação Forense de Madeira (UNODC, 2016), o Guia para os diferentes métodos de rastreamento de madeira (Schmitz et al., 2020) e uma edição especial da revista IAWA que reuniu pesquisas recentes sobre técnicas em desenvolvimento para identificação de madeira e carvão, bem como determinação da origem geográfica de madeiras comercializadas internacionalmente (Yin et al., 2020).

Com relação aos métodos genéticos, o DNA *Barcoding* é usado para identificar espécies, enquanto a assinatura genética é aplicada para determinar a origem geográfica e o DNA *Fingerprinting* para diferenciar os indivíduos (Venancio, 2017).

Uma revisão das pesquisas realizadas sobre DNA *barcoding* para identificação de madeira e suas perspectivas futuras foi realizada por Jiao et al. (2020). A espécie *Pterocarpus erinaceus* Poir., endêmica da África e com restrição de comércio pela CITES, foi estudada para descrição de um protocolo otimizado de extração de DNA, uma vez que o isolamento do DNA da madeira é etapa crucial no processo de identificação genética dos tecidos (Lu et al., 2020). No Brasil, foi proposta uma técnica adaptada para extração de DNA em laboratórios forenses, para viabilizar a identificação de materiais apreendidos e auxiliar nas investigações sobre desmatamento e extração ilegal de madeira (Paranaíba et al., 2020).

A técnica de DNA *fingerprinting* em conjunto com DNA *barcoding* permitem distinguir os indivíduos e as espécies de plantas, tendo sido estudados como ferramentas forenses para detectar origem geográfica e monitorar a cadeia de custódia de madeiras, como os ipês do gênero *Handroanthus* (Venancio, 2017).

Diversos trabalhos recentes têm sido realizados para utilização da ciência da computação e inteligência artificial (redes neurais) no auxílio a identificação de madeira através de imagens (Lens et al., 2020, Andrade et al., 2020, Geus et al., 2020, Valverde et al., 2020, Moulin et al., 2022). Recentemente foi realizado um trabalho para diferenciação dos ipês *H. impetiginosus* e *H. serratifolius* por meio da aplicação de algoritmos (Gonçalves et al., 2022). No entanto, esta técnica, assim como as demais ferramentas em desenvolvimento, depende da identificação prévia sobre as espécies a serem estudadas para posterior montagem dos bancos de dados, o que em geral é feito por meio da anatomia, método mais antigo de identificação de madeira.

A combinação de diferentes técnicas também pode ser utilizada, como redes neurais artificiais em conjunto com espectrometria no infravermelho próximo (Oliveira et al., 2015) ou com espectrometria de fluorescência (Schugar et al., 2021).

Carmona et al. (2020) confirmaram a viabilidade do uso da espectrometria de massa em conjunto com anatomia da madeira, para separação de duas espécies de coníferas listadas no Anexo I da CITES, endêmicas da região sudeste do Chile e Argentina. O DART TOFMS (do inglês *Direct Analysis in Real-Time, Time-of-Flight Mass Spectrometry*) se mostrou uma ferramenta robusta e de confiança para identificação de espécies, e útil para verificar a espécie usada em produtos madeireiros ou madeiras suspeitas de extração ilegal (Carmona et al., 2020). Com esta mesma tecnologia, Lancaster e Espinoza (2012) analisaram 13 espécies de *Dalbergia*, e verificaram que os resultados podem ser reproduzidos e utilizados para identificação dessas espécies de madeira.

Com relação à metodologia NIRS (*Near Infrared Spectroscopy*), diversos trabalhos têm sido feitos visando identificação de madeira e produtos derivados. O trabalho de Rocha et al. (2021), comprovou que a metodologia NIRS associada a quimiometria (modelo de discriminação PLS-DA) permite a diferenciação de cinco espécies utilizadas em faqueados de madeira: *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis* Aubl., *Cedrela odorata* L., *Micropholis venulosa* (Mart. & Eichler) Pierre e *Hymenaea courbaril* L..

Além disso, foram realizados estudos envolvendo artefatos de madeira históricos e arqueológicos, para os quais a metodologia NIRS se mostrou também adequada. No trabalho de Abe et al. (2020) foi possível separar estátuas de aproximadamente um milênio que foram esculpidas em madeiras de gimnospermas e eudicotiledoneas. Pilares de madeira submersos foram analisados por Gonçalves et al. (2021) em um sítio arqueológico no estado do Maranhão, sendo verificada pelo

método NIRS a viabilidade de distinção das madeiras de ipês (*Tabebuia* sp. e *Handroanthus* sp.) com relação às demais. Foi possível também nesse trabalho a separação de amostras de madeiras modernas e arqueológicas pela espectroscopia do infravermelho próximo, devido ao estado de degradação dessas últimas, que afeta a composição química da madeira.

A técnica do NIRS também pode ser utilizada para diferenciar espécies de carvão, tendo sido comprovada sua eficiência para identificar e separar material de ipê (*Handroanthus serratifolius*) e de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W.Hill) (Davrieux et al., 2010), além de seis espécies da Caatinga (Nisgoski et al., 2018) e cinco espécies conhecidas como Angelim (Muñiz et al., 2016).

Além de ser aplicado como método de identificação, o NIRS é uma eficiente ferramenta para caracterização da madeira, utilizada por exemplo para determinação da composição química e distribuição desses componentes químicos na madeira (Colares et al., 2016), bem como para avaliação de algumas propriedades físicas como densidade, módulos de elasticidade e ruptura (Ayanleye e Avramidis, 2020).

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

Comparar anatomicamente o lenho de cinco espécies de *Handroanthus* que ocorrem na Amazônia e que podem ser confundidas entre si, além de verificar a viabilidade de separação das duas espécies mais comercializadas atualmente: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos e *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.Grose, utilizando anatomia da madeira, morfologia foliar e espectroscopia do infravermelho próximo.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar os caracteres anatômicos macroscópicos que permitem distinguir as madeiras de cinco espécies de *Handroanthus* a partir da análise de amostras provenientes de coletas e de diferentes xilotecas do Brasil;
- Elaborar uma chave de identificação para as cinco espécies: *Handroanthus barbatus* (E.Mey.) Mattos, *Handroanthus capitatus* (Bureau & K.Schum.) Mattos, *H. impetiginosus*, *Handroanthus incanus* (A.H.Gentry) S.Grose e *H. serratifolius*, utilizando características da madeira;
- Elaborar uma chave de identificação utilizando as características anatômicas da madeira e morfológicas das folhas, somente para as espécies *Handroanthus impetiginosus* e *Handroanthus serratifolius*, para ser utilizada em campo;
- Construir um banco de dados de espectros de madeira coletados com o NIRS e aplicar essa metodologia como projeto piloto para verificar a funcionalidade do sistema para separação de três espécies de ipês (*H. impetiginosus*, *H. incanus* e *H. serratifolius*), além de associar esses dados aos caracteres anatômicos que permitem distinguir as espécies no modelo.

3. Referências bibliográficas

- Abe, H., Kurata, Y., Watanabe, K., Ishikawa, A., Noshiro, S., Fujii, T., Iwasa, M., Kaneko, H., Wada, H., 2020. The separation of softwood and hardwood in historical wooden statues of the Nazenji-temple in Japan using NIR spectroscopy. *IAWA J.* 41(4), 740-750.
- Agila, S., Burneo, A., Narváez, L., Pucha-Cofrep, D., 2018. Propiedades físicas y características anatómicas de la madera de tres especies de Guayacán al sur de Ecuador. *Bosques Latitud Cero* 8(2), 1-15.
- Alves, E.S., Angyalossy-Alfonso, V., 2000. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. *IAWA J.* 21(1), 3-30.
- Alves, E.S., Angyalossy-Alfonso, V., 2002. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. *IAWA J.* 23(4), 391-418.
- Amado, S.; Ferreira, I.N.M., Filho, J.T.C., 2015. Comparação anatômica do lenho de *Handroanthus impetiginosus* e *Handroanthus avellanadae*. *Revista Anhanguera Goiânia* 16(1), 34-41.
- Andrade, B.G., Basso, V.M., Figueiredo Latorraca, J.V., 2020. Machine vision for field-level wood identification. *IAWA J.* 41(4), 681-698
- Angelsen, A., Jagger, P., Babigumira, R., Belcher, B., Hogarth, N.J., Bauch, S., Börner, J., Smith-Hall, C., Wunder, S., 2014. Environmental income and rural livelihoods: a global-comparative analysis. *World Dev.* 64(1), 12-28.
- Ayanleye, S., Avramidis, S., 2020. Predictive capacity of some wood properties by near-infrared spectroscopy. *Int. Wood Prod. J.* DOI: 10.1080/20426445.2020.1834312.
- Bernal, R.A., Coradin, V., Camargos, J., Costa, C., Pissarra, J., 2011. Wood anatomy of Lecythidaceae species called “tauari”. *IAWA J.* 32(1), 97-112.
- Brandes, A.F.N., Novello, B.Q., Lemos, D.N., Nascimento, L.B., Albuquerque, R.P., Tamaio, N., Barros, C.F., 2020. Wood anatomy of endangered Brazilian tree species. *IAWA J.* 41(4), 510-576.
- Brandes, A.F.N., Novello, B.Q., Siston, T., Nascimento, L.B., Tamaio, N., Barros, C.F., 2021. An interactive identification key for Atlantic Forest tree species based on macroscopic wood anatomy. *Rodriguésia*, 72(e-02402020), 1-5.
- Brasil, 2019. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Florestas do Brasil em resumo: 2019 - Brasília: MAPA/SFB. 207p.
- Burger, L.M., Richter, H.G., 1991. Anatomia da madeira. São Paulo: Nobel, 154p.

- Camargos, J.A.A., Coradin, V.T.R., Czarneski, C.M., Oliveira, D., Meguerditchian, I., 2001. Catálogo de árvores do Brasil. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Laboratório de Produtos Florestais. Brasília: Ed. IBAMA, 896p.
- Carmona, R.J., Wiemann, M.C., Bass, P., Barros, C., Chavarria, G.D., McClure, P.J., Espinoza, E.O., 2020. Forensic identification of CITES Appendix I Cupressaceae using anatomy and mass spectrometry. *IAWA J.* 41(4), 720-739.
- Carvalho, W.D., Mustin, K., Hilário, R.R., Vasconcelos, I.M., Eilers, V., Fearnside, P.M., 2019. Deforestation control in the Brazilian Amazon: A conservation struggle being lost as agreements and regulations are subverted and bypassed. *Perspect. Ecol. Conserv.* 17(3), 122-130.
- Castellanos, J.R.G., Prieto, J.M., Heinrich, M., 2009. Red Lapacho (*Tabebuia impetiginosa*) – A global ethnopharmacological commodity? *J. Ethnopharmacol.* 121(1), 1-13.
- Colares, C.J.G., Pastore, T.C.M., Coradin, V.T.R., Marques, L.F., Moreira, A.C.O., Alexandrino, G.L., Poppi, R.J., Braga, J.W.B., 2016. Near infrared hyperspectral imaging and MCR-ALS applied for mapping chemical composition of the wood specie *Swietenia macrophylla* King (Mahogany) at microscopic level. *Microchem J.* 124(1), 356-363.
- Costa, S., Lohmann, L.G., Buriel, M.T., 2019. Flora of Pernambuco, Brazil: *Tabebuia* alliance and tribe Jacarandae (Bignoniaceae). *Biota Neotrop.* 19(4), 1-16.
- Costa, W.S., Cunha, M., Rodrigues, P.J.F.P., Iguatemy, M.A., Valladares, F., Barros, C.F., 2020. Intraspecific variation in functional wood anatomy of tropical trees caused by effects of forest edge. *Forest Ecol. Manag.* 473(118305), 1-13.
- Cysneiros, V.C., Júnior, J.O.M., Lanza, T.R., Moraes, J.C.R., Samor, O.J.M., 2018. Espécies madeireiras da Amazônia: riqueza, nomes populares e suas peculiaridades. *Pesq. Flor. Bras.* 38(e-201801567), 1-14.
- Davrieux, F., Rousset, P.L.A., Pastore, T.C.M., Macedo, L.A., Quirino, W.F., 2010. Discrimination of native wood charcoal by infrared spectroscopy. *Quim. Nova* 33(5), 1093-1097.
- Dormontt, E.E., Boner, M., Braun, B., Breulmann, G., Degen, B., Espinoza, E., Gardner, S., Ghillery, P., Hermanson, J.C., Koch, G., Lee, S.L., Kanashiro, M., Rimbawanto, A., Thomas, D., Wiedenhoft, A.C., Yin, Y., Zahnen, J., Lowe, A.J., 2015. Forensic timber identification: It is time to integrate disciplines to combat illegal logging. *Biol. Conserv.* 191(1), 790-798.
- Fearnside, P.M., 2006. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amaz.* 36(3), 395-400.
- Fearnside, P.M., 2017. Deforestation of the Brazilian Amazon. In: Shugart, H. (Ed.), *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. Oxford University Press, New York, pp. 1–53, <http://dx.doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.102>.

- Ferreira, C.A., Inga J.G., Vidal, O.D., Goytendia, W.E., Moya, S.M., Centeno, T.B., Vélez, A., Gamarra, D., Tomazello-Filho, M., 2021. Identification of tree species from the Peruvian Tropical Amazon “Selva Central” forests according to wood anatomy. *BioResources* 16(4), 7161-7179.
- Fichtler, E., Worbes, M., 2012. Wood anatomical variables in tropical trees and their relation to site conditions and individual tree morphology. *IAWA J.* 33(2), 119-140.
- Florsheim, S.M.B., Ribeiro, A.P., Longui, E.L., Andrade, I.M., Sonsin-Oliveira, J., Chimelo, J.P., Soares, R.K., Gouveia, T.C., Marques, V.N., 2020. Identificação macroscópica de madeiras comerciais do estado de São Paulo. São Paulo: Instituto Florestal, 392p.
- Fomin, I.M., 2017. A madeira de ipê (*Handroanthus* spp.) para arcos de violino: propriedades e avaliação de desempenho técnico. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Gasson, P. 2011. How precise can wood identification be? Wood anatomy’s role in support of the legal timber trade, especially CITES. *IAWA J.* 32(2), 137-154.
- Gasson, P.E., Lancaster, C.A., Young, R., Redstone, S., Miles-Bunch, I.A., Rees, G., Guillery, R.P., Parker-Forney, M., Lebow, E.T., 2021. WorldForestID: Addressing the need for standardized wood reference collections to support authentication analysis technologies; a way forward for checking the origin and identity of traded timber. *Plants People Planet* 3(2), 130-141.
- Geus, A.R., Silva, S.F., Gontijo, A.B., Silva, F.O., Batista, M.A., Souza, J.R., 2020. An analysis of timber sections and deep learning for wood species classification. *Multimed. Tools Appl.* 79(1), 34513-34529.
- Gentry, A.H., 1992. Bignoniaceae: Part II (Tribe Tecomeae). *Flora Neotropica* 25(2), 1-370.
- Gonçalves, T.A.P., Nisgoski, S., Oliveira, J.S., Marcati, C.R., Ballarin, A.W., Muñoz, G.I.B., 2016. A contribution to the identification of charcoals origin in Brazil II – Macroscopic characterization of Cerrado species. *An. Acad. Bras. Cienc.* 88(2), 1045-1054.
- Gonçalves, T.A.P., Navarro, A.G., Nisgoski, S., Sonsin-Oliveira, J., 2021. The trees of the Water People: archeological waterlogged wood identification and near-infrared analysis in Eastern Amazonia. *Wood Sci. Technol.* 55(4), 991-1011.
- Gonçalves, Y.L.M., Siqueira, E.S., Ferreira, C.A., Teixeira, M.S., Correa, P.V., Urbinati, C.V., 2022. Application of Random Forest algorithm to support in identification of the *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. O. Grose and *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae) species. *Braz. J. Dev.* 8(5), 39721-39735.
- Grose, S.O., Olmstead, R.G., 2007. Taxonomic Revisions in the Polyphyletic Genus *Tabebuia* s. l. (Bignoniaceae). *Syst. Bot.* 32(3), 660-670.

- Heydarian, M., Kouhpar, S.M.M., 2021. An anatomic study of wood charcoal discovered from the archaeological site of Kelar, Kelardasht in north of Iran. *The International Journal of Ancient Iranian Studies* 1(1), 3-12.
- IMAFLORA – Instituição de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola, 2021. A exploração do ipê (*Handroanthus* spp.) em florestas naturais da Amazônia brasileira: desafios e oportunidades para a conservação e o manejo responsável. TimberFlow.org.br, 04. <https://www.imaflora.org/biblioteca?page=1&pesquisa=timberflow> (acesso 27 set. 2021).
- INPE. 2022. PRODES - Amazônia. Monitoramento do desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite. <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes> (acesso 12 ago. 2022).
- IUCN – International Union for Conservation of Nature, 2019. IUCN and TRAFFIC analyses of the proposals to amend the CITES appendices at the 18th meeting of the Conference of the Parties. <https://portals.iucn.org/library/node/48472> (acesso 10 nov. 2020).
- IUCN – International Union for Conservation of Nature, 2020. The IUCN Red List of Threatened Species. IUCN. <https://www.iucnredlist.org> (acesso 13 ago. 2022).
- Jiao, L., Lu, Y., He, T., Guo, J., Yin, Y., 2020. DNA barcoding for wood identification: global review of the last decade and future perspective. *IAWA J.* 41(4), 620-643.
- Kerber, R.L., Fagundes, S.T.S., Satilho, C.O., Tronco, K.M.Q., Vendruscolo, J., Scoti, M.S.V., 2021. Flora arbórea na FLONA do Jamari, Rondônia. *Res., Soc. Dev.*, 10(4), 1-19.
- Koch G., Haag, V., Heinz, I., Richter, H-G., Schmitt, U., 2015. Control of internationally traded timber – The role of macroscopic and microscopic wood identification against illegal logging. *J. Forensic Res.* 6(6), 1-4.
- Köhl, M., Lasco, R., Cifuentes, M., Jonsson, Ö., Korhonen, K.T., Mundhenk, P., Navar, J.J., Stinson, G., 2015. Changes in forest production, biomass and carbon: Results from the 2015 UN FAO Global Forest Resource Assessment. *Forest Ecol. Manag.*, 352(1), 21-34.
- Lacerda, A.E.B., Nimmo, E.R., Faria, B.S., Kellermann, B., Albergoni, L., Garrastazu, M. C., Oliveira, Y.M.M., Mattos, P.P., Rosot, M.A.D., 2010. A identificação botânica no manejo florestal na Amazônia. Colombo: Embrapa Florestas (Documentos 204), 21p.
- Lancaster, C., Espinoza, E., 2012. Analysis of select *Dalbergia* and trade timber using direct analysis in real time and time-of-flight mass spectrometry for CITES enforcement. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 26(9), 1147-1156.
- Leme, C.L.D., 2016. Wood anatomy of seven species known as “pau-para-tudo” in Brazil. *Cerne* 22(3), 261-270.

- Lens, F., Liang, C., Guo, Y., Tang, X., Jahanbanifard, M., Silva, F.S.C., Ceccantini, G., Verbeek, F.J., 2020. Computer-assisted timber identification based on features extracted from microscopic wood sections. *IAWA J.* 41(4), 660-680.
- Longui, E.L., Yojo, T., Lombardi, D.R., Alves, E.S., 2010. The potential of ipê (*Handroanthus* spp.) and maçaranduba (*Manilkara* spp.) woods in the manufacture of bows for string instruments. *IAWA J.* 31(2), 149-160.
- Lohmann, L.G.; Kaehler, M.; Fonseca, L.H.M.; Farias-Singer, R.; Firetti, F.; Silva-Castro, M.M.; Gomes, B.M.; Frazão, A.; Francisco, J.N.C.; Thode, V.A.; Zuntini, A.R.; Medeiros, M.C.M.P.; Kataoka, E.Y.; Beyer, M. 2020. *Bignoniaceae* in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB112305> (acesso 21 out 2021)
- Lohmann, L.G., Ulloa Ulloa, C. *Bignoniaceae*. In iPlants prototype Checklist. www.iplants.org (acesso 05 out 2020).
- Lohmann, L.G. *Handroanthus* in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB114068> (acesso 08 ago 2022)
- LPF – Laboratório de Produtos Florestais, 2022. Madeiras Comerciais do Brasil: Chave interativa de identificação de madeiras. https://keys.lucidcentral.org/keys/v4/madeiras_comerciais_do_brasil/index_pt.html (acesso 30 ago. 2022).
- Lu, Y., Jiao, L., He, T., Zhang, Y., Jiang, X., Yin, Y., 2020. An optimized DNA extraction protocol for wood DNA barcoding of *Pterocarpus erinaceus*. *IAWA J.* 41(4), 644-659.
- Luize, B.G., Magalhães, J.L.L., Queiroz, H., Lopes, M.A., Venticinque, E.M., Novo, E.M.L.M., Silva, T.S.F., 2018. The tree species pool of Amazonian wetland forests: which species can assemble in periodically waterlogged habitats? *Plos One* 13(5), e0198130.
- Martins-da-Silva, R.C.V., Hopkins, M.G., Thompson, I.S., 2003. Identificação botânica na Amazônia: situação atual e perspectivas. Belém: Embrapa Amazônia Oriental (Documentos, 168), 81p.
- Mataveli, G.A.V., Chaves, M.E.D., Brunsell, N.A., Aragão, L.E.O.C., 2021. The emergence of a new deforestation hotspot in Amazonia. *Perspect. Ecol. Conserv.* 19, 33-36.
- Matricardi, E.A.T., Skole, D.L., Costa, O.B., Pedlowski, M.A., Samek, J.H., Miguel, E.P., 2020. Long-term forest degradation surpasses deforestation in the Brazilian Amazon. *Science* 369(6509), 1378-1382.
- Melo, J.E., Camargos, J.A.A., 2016. A madeira e seus usos. Brasília: SFB/LPF/MMA, 228p.
- Moulin, J.C., Lopes, D.J.V., Mulin, L.B., Bobadilha, G.S., Oliveira, R.F., 2022. Microscopic identification of brazilian commercial wood species via machine-learning. *Cerne*, 28(e-102978), 1-9.

- Muñiz, G.I.B., Carneiro, M.E., Batista, F.R.R., Schardosin, F.Z., Nisgoski, S., 2016. Wood and charcoal identification of five species from the miscellaneous group known in Brazil as *Angelim* by near-IR and wood anatomy. *Maderas: Cienc. Tecnol.* 18(3), 505-522.
- Naves, R.P., Grotan, V., Prado, P.I., Vidal, E., Batista, J.L.F., 2020. Tropical forest management altered abundances of individual tree species but not diversity. *Forest Ecol. Manag.* 475.
- Nisgoski, S., Batista, F.R.R., Naide, T.L., Laube, N.C.C., Leão, A.C.R., Muñiz, G.I.B., 2018. Discrimination of wood and charcoal from six Caatinga species by near-infrared spectroscopy. *Maderas-Cienc Tecnol.* 20(2), 199-210.
- Norman, M., Zunino, A.R., 2022. Demand for luxury decks in Europe and North America is pushing Ipê to the brink of extinction across the Amazon basin & threatening the forest frontier. *Forest Policy Trade and Finance Initiative. Report. Forest Trends.* March, 2022.
- Noronha, N.M., Scudeller, V.V., 2011. Morfo-anatomia foliar de *Handroanthus barbatus* (E.Mey.) Mattos (Bignoniaceae). *In. BioTupé: meio físico, diversidade biológica e sociocultural*, vol. 3/ organizado por E.N. Santos-Silva, V.V. Scudeller & M.J. Cavalcanti. Manaus: Rizoma Editorial. 556p.
- Oliveira, A.A., Siqueira, P.H., Nisgoski, S., Muniz, G.I.B., Ferreira, J.H., 2015. Identificação de madeiras utilizando a espectrometria do infravermelho próximo e redes neurais artificiais. *Tend. Mat. Apl. Comput.*, 16(2), 81-95.
- Olmstead, R.G., Zjhra, M.L., Lohmann, L.G., Grose, S.O., Eckert, A.J., 2009. A molecular phylogeny and classification of Bignoniaceae. *Am. J. Bot.* 96(9), 1731-1743.
- Pace, M.R., Lohmann, L.G., Olmstead, R.G., Angyalossy, V., 2015. Wood anatomy of major Bignoniaceae clades. *Plant Syst. Evol.* 301, 967-995.
- Paranaíba, R.T.F., Carvalho, C.B.V., Paiva, R.S., Trindade, B.R., Barros, M.G., Souza, E.P., Gontijo, A.B., Silveira, D., 2020. DNA from wood – A simple approach facing a challenging matrix – A preliminary study. *Forensic Sci. Int.* 314.
- Paula, J.E. & Alves, J.L.H. 2007. 897 Madeiras nativas do Brasil. Porto Alegre: Cinco Continentes.
- Perdigão, C.R.V., Junior, M.M.B., Gonçalves, T.A.P., Araujo, C.S., Mori, F.A., Barbosa, A.C.M.C., Souza, F.I.B., Motta, J.P., Melo, L.E.L., 2020. Forestry control in the Brazilian Amazon I: wood and charcoal anatomy of three endangered species. *IAWA J.* 41(4), 490-509.
- Pinheiro, K.A.O., Ruschel, A.R., Carneiro, F.S., Frazão, A.S., Souza, M.F.S., D'arace, L.M.B., Amorim, M.B., 2021. Potencial de espécies comerciais analisado pelo índice de valor de importância em área de exploração de impacto reduzido. *Res., Soc. Dev.* 10(2).

- Pinto, R.C., Pinheiro, C., Vidal, E., Schwartz, G., 2021. Technical and financial evaluation of enrichment planting in logging gaps with the high-value species *Swietenia macrophylla* and *Handroanthus serratifolius* in the Eastern Amazon. *Forest Ecol. Manag.* 495.
- Procópio, L.C., Secco, R.S., 2008. A importância da identificação botânica nos inventários florestais: o exemplo do “tauari” (*Couratari* spp. e *Cariniana* spp. - Lecythidaceae) em duas áreas manejadas no estado do Pará. *Acta Amaz.* 38(1), 31-44.
- Richardson, V.A., Peres, C.A., 2016. Temporal decay in timber species composition and value in amazonian logging concessions. *Plos One* 11(7), e0159035.
- Rocha, H.S., Braga, J.W.B., Kunze, D.C.G.C., Coradin, V.T.R., Pastore, T.C.M., 2021. Identification of mahogany sliced veneer using handheld near-infrared spectroscopy device and multivariate data analysis. *IAWA J.* 42, 336-347.
- Rodrigues, A.M.S., Stien, D., Eparvier, V., Espindola, L.S., Beauchêne J., Amusant, N., Leménager, N., Baudassé, C., Raguin, L., 2012. The wood preservative potential of long-lasting Amazonian wood extracts. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 75, 146-149.
- Ruffinatto, F., Castro, G., Cremonini, C., Crivellaro, A., Zanuttini, R., 2020. A new atlas and macroscopic wood identification software package for Italian timber species. *IAWA J.* 41(4), 393-411.
- Santos, G.M.A., 1990. Systematic wood anatomy of Tecomeae (Bignoniaceae). Dissertação de mestrado. University of Missouri-St. Louis, Missouri.
- Santos, S.R., 2017. A atual classificação do antigo gênero *Tabebuia* (Bignoniaceae) sob o ponto de vista da anatomia da madeira. *Balduinia* 58, 10-24.
- Schmitz, N. (ed.), Beeckman, H., Blanc-Jolivet, C., Boeschoten, L., Braga, J.W.B., Cabezas, J.A., Chaix, G., Cramer, S., Degen, B., Deklerck, V., Dormontt, E., Espinoza, E., Gasson, P., Haag, V., Helmling, S., Horacek, M., Koch, G., Lancaster, C., Lens, F., Lowe, A., Martínez-Jarquín, S., Nowakowska, J.A., Olbrich, A., Paredes-Villanueva, K., Pastore, T.C.M., Ramananantoandro, T., Razafimahatratra, A.R., Ravindran, P., Rees, G., Soares, L.F., Tysklind, N., Vlam, M., Watkinson, C., Wheeler, E., Winkler, R., Wiedenhoeft, A.C., Zemke, V.Th., Zuidema, P., 2020. Overview of current practices in data analysis for wood identification. A guide for the different timber tracking methods. Global Timber Tracking Network, GTTN secretariat, European Forest Institute and Thünen Institute.
- Schugar, A.N., Drake, B.L., Kelley, G., 2021. Rapid identification of wood species using XRF and neural network machine learning. *Sci. Rep.* 11(17533), 1-10.

- Schulze, M., Grogan, J., Uhl, C., Lentini, M., Vidal, E., 2008. Evaluating ipe (*Tabebuia*, Bignoniaceae) logging in Amazonia: Sustainable management or catalyst for forest degradation? *Biol. Conserv.* 141, 2071-2085.
- Silva, A.M.L., Costa, M.F.B., Leite, V.G., Rezende, A.A., Teixeira, S.P., 2009. Anatomia foliar com implicações taxonômicas em espécies de ipês. *Hoehnea* 36(2), 329-338.
- Sonsin, J.O., Gasson, P.E., Barros, C.F., Marcatti, C.R., 2012. A comparison of the wood anatomy of 11 species from two cerrado habitats (cerrado s.s. and adjacent gallery forest). *Bot. J. Linn. Soc.* 170, 257-276.
- Souza, J.M.A., Sampaio, P.T.B., Degtere, I.A., Santos, A.L., Santos, V.S., 2020. Longitudinal distribution of lapachol in the stalk of ipê species (*Handroanthus* spp.). *Eur. J. Wood Prod.* 78, 609-611.
- Souza, L.A., Oliveira, J.H.G., 2004. Morfologia e anatomia das plântulas de *Tabebuia avellanedae* Lor. ex Griseb e *T. chrysotricha* (Mart. ex Dc.) Standl. (Bignoniaceae). *Acta Sci. Biol. Sci.* 26(2), 217-226.
- Steege, H., Pitman, N.C.A., Sabatier, D., et al., 2013. Hyperdominance in the Amazonian Tree Flora. *Science* 342(6156), 1243092.
- Terra, M.C.N.S., Lima, M.G.B., Santos, J.P., Cordeiro, N.G., Pereira, K.M.G., Dantas, D., Calegario, N., Botelho, S.A., 2022. Non-linear growth models for tree species used for forest restoration in Brazilian Amazon Arc of Deforestation. *Pesq. Flor. Bras.* 42(e202102180), 1-13.
- UNODC – United Nations Office on Drugs and Crime, 2016. Best Practice Guide for Forensic Timber Identification. United Nations, New York.
- Valverde, J.C., Arias, D., Mata, E., Figueroa, G., Zamora, N., 2020. Determinación de las condiciones fotográficas óptimas para la caracterización anatómica de diez especies maderables de Costa Rica. *Rev. Cuba. Cienc. For.* 8(3), 439-455.
- Venancio, B.R. 2017. Chain of custody control of ipe timber (*Handroanthus* sp.) from the Amazon rainforest, using DNA fingerprinting. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira.
- Vieira, D.S., Gomes, K.M.A., Santos, L.E., Oliveira, M.L.R., Gama, J.R.V., Mendonça, E.L.M., Lafetá, B.O., Moura, C.C., Figueiredo, A.E.S., 2021. Estrutura diamétrica e especial de espécies madeireiras de importância econômica na Amazônia. *Sci. For.* 49(129), 1-15.
- Wiedenhoeft, A.C., Simeone, J., Smith, A., Parker-Forney, M., Soares, R., Fishman, A., 2019. Fraud and misrepresentation in retail forest products exceeds U.S. forensic wood science capacity. *Plos One* 14(7), e0219917.

- Yin, Y, Wiedenhoef, A.C., Donaldson, L., 2020. Advancing Wood Identification – Anatomical and Molecular Techniques. *IAWA J.* 41(4), 391-392.
- Zemke, V., Haag, V., Koch, G., 2020. Wood identification of charcoal with 3D-reflected light microscopy. *IAWA J.* 41(4), 478-489.

CAPÍTULO 1

Distinção de espécies de Ipê (*Handroanthus*) da Amazônia por meio da anatomia macroscópica da madeira e morfologia foliar

ELISA P SOUZA^{1,2}, BEATRIZ M GOMES¹, CHRISTOPHER W FAGG¹, LUIZ FERNANDO MARQUES², ALEXANDRE B GONTIJO², JÚLIA SONSIN-OLIVEIRA¹

¹ Programa de Pós-Graduação (PPG) em Botânica, Departamento de Botânica, Instituto de Ciências Biológicas (IB), Universidade de Brasília (UNB), Brasília, DF, 70910-970, Brasil

² Laboratório de Produtos Florestais (LPF), Serviço Florestal Brasileiro (SFB), Brasília, DF, 70818-900, Brasil

RESUMO

Os ipês do gênero *Handroanthus* estão entre as espécies mais exploradas atualmente na Amazônia. Existem esforços no sentido de conservação e monitoramento da exploração florestal, porém há limitações nos processos de identificação, que requerem avaliação principalmente dos órgãos reprodutivos, e na ausência destes, podem ser utilizadas as folhas e madeira. O objetivo deste trabalho foi avaliar os caracteres anatômicos macroscópicos que permitem distinguir as madeiras de cinco espécies de ipês que ocorrem na Amazônia, além de comparar os dois ipês mais comercializados atualmente, quanto às características macroscópicas e de morfologia foliar. Para as análises anatômicas macroscópicas foram utilizadas 81 amostras das espécies: *Handroanthus barbatus*, *H. capitatus*, *H. impetiginosus*, *H. incanus* e *H. serratifolius*, provenientes de coletas e de xilotecas, preparadas e analisadas conforme a metodologia usual para anatomia da madeira. Além disso, foram descritas as características morfológicas das folhas das espécies *H. impetiginosus* e *H. serratifolius*. As principais características diagnósticas da madeira foram o parênquima axial e diâmetro de vaso. Quanto às folhas, as características de margem foliar, tricomas e domácias foram mais significativas para separação das espécies *H. impetiginosus* e *H. serratifolius*. A chave de identificação de múltiplo acesso facilitou e diminuiu a quantidade de características, tanto da madeira quanto das folhas, necessárias para realizar a identificação das duas espécies. Isso pode indicar facilidade na sua utilização em campo por não especialistas em identificação macroscópica e taxonomistas, contribuindo assim para a manutenção dos sistemas de manejo dessas espécies. Já na chave dicotômica foi possível realizar a separação das cinco espécies, mas com dificuldade, uma vez que se fez necessária a utilização de mais características quantitativas, pois há uma grande variação intraespecífica que ocorre entre as madeiras de *Handroanthus*, refletido também nas análises de PCA e de agrupamento.

Palavras-chave: *Handroanthus*, identificação, anatomia da madeira, morfologia foliar.

1. INTRODUÇÃO

Os ipês do gênero *Handroanthus* estão entre as espécies mais exploradas atualmente na Amazônia devido às propriedades de sua madeira, como a alta densidade e resistência, e boa durabilidade natural (Melo & Camargos 2016). No entanto, foi constatada a redução da quantidade de ipês nos últimos anos (Naves et al. 2020), principalmente com relação às espécies *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos e *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.Grose, por serem as mais frequentes entre as madeiras comercializadas tanto nacional quanto internacionalmente. Apesar de distribuídas por todo o bioma, essas espécies ocorrem em baixa densidade populacional e possuem taxa de crescimento lenta, estando, portanto, ameaçadas pelo mercado madeireiro (Schulze et al. 2008, Imaflora 2021, Norman & Zunino 2022).

Existem esforços no sentido de conservação das florestas e monitoramento da exploração florestal, entretanto, as limitações dos processos de identificação acabam gerando uma incompatibilidade entre as expectativas da legislação e a realidade (Gasson 2011). A identificação correta das espécies, tanto pelos órgãos de monitoramento e controle quanto pelos produtores e consumidores, é fundamental para o conhecimento do que está sendo explorado e comercializado e conseqüentemente para a manutenção dos sistemas de manejo e de toda cadeia produtiva.

A identificação taxonômica de uma espécie requer avaliação das estruturas de caule, folhas e principalmente das flores. A principal técnica para identificação e classificação de angiospermas tem sido a análise comparativa das características reprodutivas, no entanto, as folhas têm se mostrado mais práticas para identificação em campo (Ellis et al. 2009).

Na ausência de material fértil, as folhas podem fornecer grande variedade de informações para identificação das plantas. Os órgãos vegetativos são muito úteis uma vez que nos trabalhos de campo não são encontradas com frequência espécies em estado reprodutivo, ou seja, o reconhecimento das espécies pelas folhas pode ocorrer independentemente da época de floração ou frutificação (Braz et al. 2004).

Além das características morfológicas visíveis a olho nu, existem outras estruturas da anatomia foliar, como os tricomas, que podem ser visualizadas com aumento de 10x e contribuem para identificação das plantas. Os tricomas são estruturas formadas por uma ou mais células epidérmicas diferenciadas, atuam na defesa química ou física das plantas, e podem ser classificados em glandulares e tectores (Almeida & Almeida 2018).

Devido à diversidade de formas e funções, os tricomas representam um importante caractere taxonômico para reconhecimento de gêneros e espécies de Bignoniaceae, uma vez que os representantes dessa família apresentam grande variedade de estrutura, posição, abundância e

tamanho de tricomas tanto nos órgãos reprodutivos quanto vegetativos (Nogueira et al. 2013, Fróes et al. 2015, Oliveira 2020).

Entretanto, as características foliares podem apresentar muita variação entre as espécies, decorrente da alta plasticidade morfológica e capacidade adaptativa a diferentes ambientes (Guerra et al. 2015). Além disso, há diferenças morfológicas bastante acentuadas entre os estágios juvenil e adulto (Felix et al. 2018) e todas essas variações afetam o reconhecimento das espécies.

Deste modo, a identificação somente com as folhas pode levar ao erro, tanto em decorrência da variação intraespecífica quanto das semelhanças entre espécies do mesmo gênero. Assim, a observação das características de caule (madeira) e folhas em conjunto torna-se uma alternativa para facilitar a identificação em campo.

A coleta e identificação correta de uma determinada espécie pode ser auxiliada pelo uso de chaves de identificação, pois nem sempre é possível a presença de um especialista. As chaves de identificação baseadas em caracteres vegetativos são úteis para serem usadas em qualquer época do ano, pois as estruturas estão sempre disponíveis, são macroscopicamente evidentes e menos sujeitas a convergências evolutivas do que as flores e frutos (Batalha & Mantovani 1999, Urbanetz et al. 2010).

Por meio das chaves de identificação as plantas podem ser identificadas com base em um conjunto de estados de caracteres, sendo as chaves dicotômicas (indentadas ou paralelas) e pictóricas as mais convencionais e mais difundidas (Espírito-Santo et al. 2013).

Além dessas, outro tipo de chave são as de múltiplo acesso ou interativas que permitem a avaliação de diferentes caracteres em conjunto. Estas chaves interativas podem ser desenvolvidas a partir de programas computacionais e atrelar ferramentas adicionais como imagens e glossários (Espírito-Santo et al. 2013), facilitando a utilização por usuários não especialistas.

Existem chaves de identificação de madeiras comerciais que incluem ipês do gênero *Handroanthus* (Camargos 1996, Richter & Dallwitz 2000, IPT 2006, Coradin et al. 2010, Trevizor 2011, Richter et al. 2014, Florsheim et al. 2020, Brandes et al. 2021), porém, se baseiam em poucos indivíduos e algumas chegam apenas ao nível de gênero. Não foram encontradas chaves de identificação para os ipês que utilizam caracteres de folha e madeira em conjunto.

Quando uma árvore é abatida e posteriormente a madeira é processada, as características morfológicas das folhas, flores, frutos e casca são perdidas e a identificação pode ser viabilizada por meio da análise das estruturas anatômicas da madeira.

A utilização da anatomia para identificação é a técnica mais antiga, sendo usada rotineiramente a mais de 100 anos (Koch et al. 2015) e fornece o suporte para todas as demais ferramentas e metodologias de identificação de madeira. Entretanto, a macroscopia não permite a

análise detalhada dos elementos anatômicos, tornando mais difícil a separação de espécies semelhantes ou com muita variabilidade, que podem ocorrer devido às diversas condições de crescimento das árvores ou a diferentes exposições ao oxigênio e radiações UV, alterando a cor da madeira (Koch et al. 2015).

A análise anatômica realizada a nível microscópico possibilita a visualização detalhada das estruturas, porém requer a preparação de lâminas histológicas e uso de equipamentos específicos, o que torna inviável a realização dos procedimentos em campo. Por outro lado, a identificação pela macroscopia é o método mais rápido e pode determinar com uma certa segurança o gênero da madeira, podendo ser utilizada em campo e auxiliar, por exemplo, as atividades de fiscalização por órgãos ambientais nas rodovias ou madeiras.

Santos (2017) estudou a anatomia da madeira de *Handroanthus* e as características microscópicas que permitem distingui-lo dos outros dois gêneros do clado *Tabebuia*, sugerindo que a presença de conteúdo nos vasos, altura de raios e parênquima axial são caracteres potencialmente úteis para identificação das madeiras do gênero. Além desse, houve outros trabalhos sobre anatomia microscópica da madeira de *Handroanthus*, porém envolvendo a caracterização e distinção de algumas espécies utilizadas para fins comerciais, ornamentais ou medicinais, tanto no Brasil quanto em outros países em que ocorrem (Albuquerque 2012, Amado et al. 2015, Leme 2016, Agila et al. 2018).

Quanto à madeira das espécies *H. impetiginosus* e *H. serratifolius*, foram encontrados alguns trabalhos de dendrocronologia realizados na Amazônia brasileira e peruana (Shimamoto et al. 2016, Andrade et al. 2019, Marcelo-Peña et al. 2020). Nestes trabalhos, apesar de não constar a descrição anatômica das madeiras, foi verificado que ambas as espécies apresentam a delimitação dos anéis de crescimento por alteração da espessura da parede das fibras, combinado com a presença de parênquima marginal, dependendo dos espécimes.

Foram encontradas descrições macroscópicas das madeiras de três espécies do presente estudo: *Handroanthus impetiginosus*, *H. incanus* e *H. serratifolius* (Mainieri & Chimelo 1989, Coradin et al. 2010, Trevizor 2011, Florsheim et al. 2020), mas essas foram baseadas em poucos indivíduos. É importante a coleta e análise de grande quantidade de amostras para abranger o máximo possível de variações intraespecíficas e buscar uma padronização, visando facilitar a identificação das espécies estudadas, uma vez que, de acordo com Gasson et al. (2010), que estudaram os caracteres anatômicos que permitem distinguir a madeira de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth. (espécie listada na CITES) de outras espécies do gênero, as variações intraespecíficas podem ser maiores do que aquelas entre membros de espécies diferentes.

Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar, com base em um grande número de amostras (81), quais são os caracteres anatômicos macroscópicos que permitem distinguir as madeiras de cinco espécies de ipês que ocorrem na Amazônia: *Handroanthus barbatus*, *H. capitatus*, *H. impetiginosus*, *H. incanus* e *H. serratifolius*. Além disso, foram comparados os dois ipês mais comercializados atualmente (*H. impetiginosus* e *H. serratifolius*) quanto às características macroscópicas da madeira e de morfologia foliar, visando a elaboração de uma chave de identificação de múltiplo acesso com dados de madeira e folha.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta do material botânico

No período de 28/07 a 04/08/2020 foi realizada coleta de madeira e ramos com folhas e flores de 17 árvores de ipês em áreas de concessão da Floresta Nacional de Jamari, Rondônia (Tabela 1). Visando a minimização dos impactos nas árvores, foi utilizada metodologia não destrutiva para coleta das madeiras, com o uso do trado motorizado (Bt45, ®Sthil), aplicação de calda bordalesa para impedir ataques de microrganismos na área da lesão e fechamento do orifício com um pedaço de galho de diâmetro semelhante.

Seguindo esta mesma metodologia e com a mesma finalidade, foi realizada uma coleta de madeiras e exsicatas de oito árvores de ipês em agosto de 2019, na Floresta Nacional de Altamira, Pará (Tabela 1), que também foram incluídas neste trabalho. A localização geográfica das coletas foi representada no mapa da figura 1.

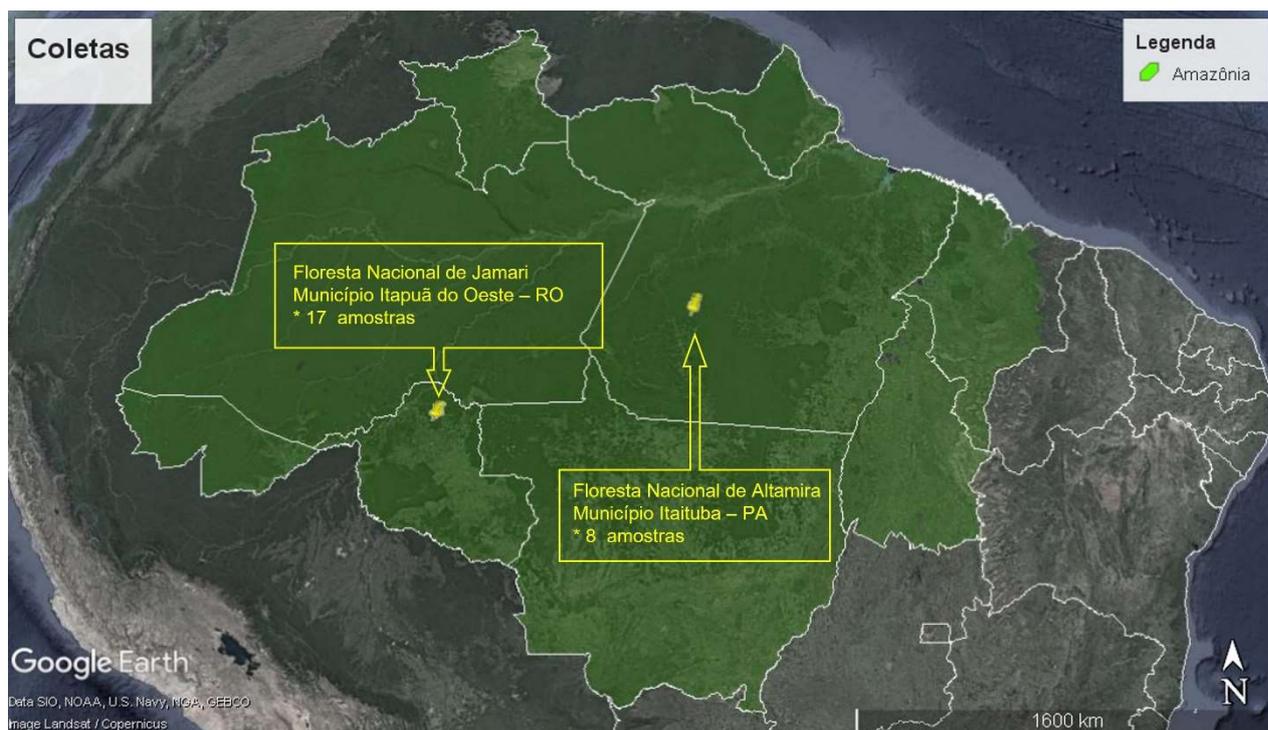


Figura 1. Localização geográfica das coletas realizadas no município de Itaituba (PA) em área da Floresta Nacional de Altamira e no município de Itapuã do Oeste (RO) em área da Floresta Nacional do Jamari.

As exsicatas coletadas foram herborizadas e identificadas por especialista na família Bignoniaceae, na Universidade de Brasília. Todas as amostras de madeira foram coletadas no diâmetro a altura do peito (DAP), que variou de 26 a 110 cm. A broca utilizada permitiu a retirada de amostras em forma de baguetas com diâmetro aproximado de três centímetros.

As 25 amostras de madeira foram registradas e tombadas na xiloteca do Laboratório de Produtos Florestais (FPBw) e as exsicatas correspondentes no herbário da Universidade de Brasília (UB) (Tabela 1).

Tabela 1. Dados e coordenadas das amostras de *Handroanthus* coletadas nas Florestas Nacionais de Altamira (PA) e Jamari (RO) com os respectivos registros (Reg) na xiloteca do LPF (FPBw) e herbário da UnB (UB). Altura (Alt); Fuste (Fus); diâmetro a altura do peito (DAP).

Espécie	Reg FPBw	Reg UB	Alt (m)	Fus (m)	DAP (cm)	Município	Latitude (S)	Longitude (W)
<i>Handroanthus capitatus</i>	5329	221772	40	22	60	Itaituba, PA	6°00'50"	55°04'06"
	5330	221773	35	30	42		5°57'30"	55°02'37"
	5331	221774	18	12	26		5°57'40"	55°02'52"
	5332	221775	28	20	50		5°57'16"	55°02'34"
	5335	221778	35	12	48		6°05'14"	55°05'37"
	5336	221779	35	25	50		6°05'16"	55°05'38"

	5334	221777	26	15	40		6°05'01"	55°04'46"
	5337	221780	40	24	110		9°12'14"	63°01'20"
	5338	221781	40	24	80		9°12'21"	63°01'24"
	5339	221782	40	20	80		9°12'22"	63°01'18"
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	5340	221783	31	19	60	Itapuã do Oeste, RO	9°12'10"	63°00'51"
	5342	221785	20	14	40		9°12'32"	63°00'08"
	5349	221792	32	20	80		9°09'35"	62°54'44"
	5351	221794	30	16	65		9°07'05"	62°54'00"
	5352	221795	37	25	85		9°06'43"	62°53'42"
	5353	221796	28	15	45		9°09'39"	62°55'42"
<i>Handroanthus incanus</i>	5333	221776	35	20	45	Itaituba, PA	6°03'23"	55°04'35"
	5343	221786	47	29	60		9°08'50"	62°54'36"
	5346	221789	38	25	40		9°09'12"	62°54'37"
	5341	221784	35	25	50		9°12'14"	63°00'28"
<i>Handroanthus serratifolius</i>	5344	221787	28	20	32	Itapuã do Oeste, RO	9°08'45"	62°54'30"
	5345	221788	25	20	33		9°08'46"	62°54'29"
	5347	221790	28	18	40		9°09'22"	62°54'36"
	5348	221791	26	17	40		9°09'33"	62°54'35"
	5350	221793	26	18	30		9°09'17"	62°54'46"

Amostras de madeira provenientes de xilotecas

Além das 25 amostras obtidas nas coletas, foram analisadas 56 amostras de madeiras (Tabela 2) provenientes de xilotecas de quatro instituições: Laboratório de Produtos Florestais (FPBw), Museu Paraense Emílio Goeldi (MGw), Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (RBw) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (BCTw).

A seleção do material a ser utilizado no projeto considerou apenas amostras retiradas do cerne do caule principal, coletadas da Amazônia e identificadas até o nível de espécie. Todas as amostras foram preparadas e fotografadas nas próprias instituições para análise posterior.

Tabela 2. Quantidade de amostras de madeira de cinco espécies de *Handroanthus*, provenientes das xilotecas das seguintes instituições: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Laboratório de Produtos Florestais (LPF) e Museu Paraense Emílio Goeldi (MG).

Espécies de <i>Handroanthus</i>					
Xilotecas	<i>H. barbatus</i>	<i>H. capitatus</i>	<i>H. impetiginosus</i>	<i>H. incanus</i>	<i>H. serratifolius</i>
RBw (JBRJ)	3	1			4
BCTw (IPT)	1		2	2	9
FPBw (LPF)			9	10	6
MGw (MG)	1	1	1	1	5
Total	5	2	12	13	24

Análise anatômica macroscópica das madeiras

Para análise macroscópica das características anatômicas da madeira, as amostras coletadas foram orientadas nos planos transversal e longitudinal com o auxílio de uma serra fita de bancada (Macrotop SFM-250). Posteriormente, foram lixadas com uso da lixadeira elétrica de bancada (Skil 3375) para gramaturas de 80, 150 e 400, depois lixadas manualmente com folhas de lixa grãos 600, 800, 1000 e por fim em lixa d'água 1200 para polimento. Nos institutos de pesquisa JBRJ e IPT foi utilizada uma lixadeira elétrica orbital Makita com a mesma série de lixas. Foi preparado o total de 81 amostras, das seguintes espécies: *Handroanthus barbatus*, *H. capitatus*, *H. impetiginosus*, *H. incanus* e *H. serratifolius*.

As análises e imagens macroscópicas das madeiras coletadas e daquelas provenientes da xiloteca do LPF foram realizadas com o auxílio de uma lente de aumento de 10x e um estereomicroscópio (Olympus SZX7) com câmera digital acoplada (Olympus DP73). Nas demais instituições foram utilizados outros equipamentos semelhantes para obtenção das imagens: Labomed Luxeo4Z (MG), Olympus SZ61 com câmera SC30 (JBRJ) e Leica MZ APO com câmera DFC310 FX (IPT). Os softwares usados foram Olympus CellSens e Leica LAS.

Os caracteres foram avaliados de acordo com a Norma COPANT (1974), Ruffinatto et al. (2015) e Florsheim et al. (2020) e a nomenclatura conforme a IAWA Committee (1989). Após a preparação das amostras, todas foram analisadas qualitativamente, sendo selecionados 55 indivíduos representativos das espécies para as análises quantitativas, baseados em sua anatomia. Considerando as identificações duvidosas de algumas amostras sem *voucher*, após as análises anatômicas foram retiradas mais três amostras e outras duas foram reclassificadas para a espécie *H. impetiginosus*, totalizando 52 amostras (Tabela 3).

Tabela 3. Amostras de madeira de *Handroanthus* selecionadas para análises quantitativas e descrição anatômica das espécies, registradas nas xilotecas do Laboratório de Produtos Florestais (FPBw), Museu Paraense Emílio Goeldi (MGw), Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (RBw), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (BCTw).

Espécie de <i>Handroanthus</i>	Registros das amostras	Nº amostras
<i>H. barbatus</i>	BCTw13778; RBw970; RBw5432; RBw6842	4
<i>H. capitatus</i>	FPBw: 5329, 5330, 5332, 5335, 5336	5
<i>H. impetiginosus</i>	BCTw: 16422, 20042; FPBw: 2018, 3122, 3124, 3125, 3210, 3242, 4177, 4178, 4179, 4621, 4622, 5337, 5338, 5339, 5340, 5349, 5351, 5352, 5353; MGw 6738	22
<i>H. incanus</i>	FPBw: 5254; 5257; 5333, 5343, 5346	5

<i>H. serratifolius</i>	BCTw: 6624, 16002, 16731; FPBw: 2129, 4332, 5341, 5344, 5345, 5347, 5348, 5350; MGw 2503; RBw: 2610, 2793, 4279, 6852	16
Total		52

Os parâmetros macroscópicos quantitativos foram o diâmetro tangencial dos vasos e frequência de vasos em 10 mm², largura e altura de raios, frequência de raios em 5 mm, listras de estratificação por mm axial e área de parênquima axial em 0,1 mm², sendo 30 medições para cada característica. A obtenção desses dados foi realizada com o auxílio do programa Olympus CellSens Standard 2.1.

Morfologia das folhas

As análises referentes à morfologia foliar foram realizadas em 21 exsicatas de nove árvores das espécies *Handroanthus impetiginosus* e *Handroanthus serratifolius* (Tabela 4) provenientes da coleta realizada na Floresta Nacional de Jamari (RO) e tombadas no herbário da Universidade de Brasília (UB). Além dessas, foram selecionadas mais oito exsicatas da coleção de duplicatas do Laboratório de Produtos Florestais e do herbário UB para análise, tendo como critério material estéril e proveniente da região amazônica.

Tabela 4. Exsicatas analisadas, pertencentes ao herbário da Universidade de Brasília (UB) e à coleção de duplicatas do Laboratório de Produtos Florestais (LPF).

Espécie	Herbário	Registro exsicata	Duplicatas	Registro madeira (FPBw)
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	LPF	665	0	3122
	LPF	667	0	3125
	LPF	669	0	3124
	LPF	670	0	3210
	LPF	1212	0	4179
	LPF	1222	0	4178
	UB	221780	2	5337
	UB	221781	3	5338
	UB	221782	3	5339
	UB	221783	2	5340
	UB	221785	3	5342
	UB	221792	2	5349
	UB	221794	3	5351
<i>Handroanthus serratifolius</i>	UB	221788	1	5345
	UB	221791	2	5348
	UB	110705	0	(sem madeira)
	UB	136313	0	(sem madeira)

Foram descritas as características morfológicas das folhas com base nos trabalhos de Hickey (1973), Gentry (1992), Ribeiro et al. (1999), Gonçalves & Lorenzi (2007), Ellis et al. (2009) e Silva Junior (2014). Os seguintes caracteres foram analisados: filotaxia das folhas, estrutura e classe de tamanho dos pecíolos e peciólulos. Considerando a menor unidade foliar, ou seja, os folíolos, foram avaliados também comprimento, largura e forma da lâmina, tipos de ápice e base, margem e superfície foliar e nervação. Além disso, foi realizada análise sobre a presença e tipos de tricomas glandulares e não glandulares e domácias.

As observações foram feitas com auxílio de lente conta fios, aumento de 10x, tendo em vista o objetivo de possibilitar que as características descritas na chave de identificação também sejam visualizadas em campo. Adicionalmente, algumas análises e imagens foram feitas com o estereomicroscópio Olympus SZX7 e uma câmera digital acoplada.

Análises estatísticas

Para análise estatística dos dados quantitativos da madeira foram calculados média, desvio padrão e valores mínimo e máximo para cada parâmetro. O teste de normalidade foi realizado, bem como a transformação utilizando logaritmo para os dados não paramétricos. Foi feita análise de variância (ANOVA) seguida do teste de comparações entre médias (teste de Tukey) com 5% de significância, para avaliar se as características anatômicas diferem estatisticamente. Além disso, foi realizada a análise de componentes principais (PCA) para verificar a possibilidade de distinção das cinco espécies pela variação dos fatores quantitativos da madeira.

Com relação às folhas, para as características quantitativas de comprimento dos folíolos, pecíolos e peciólulos e de largura dos folíolos, foram feitas de 5 a 15 medições por indivíduo. Com esses dados foi realizado o teste de normalidade, log quando necessário, e o Teste T com 5% de nível de significância para verificar se essas características diferem estatisticamente entre as duas espécies.

A análise de agrupamento pelo método da ligação média entre grupos (UPGMA) baseada no coeficiente de similaridade de Jaccard foi realizada entre indivíduos das espécies de *Handroanthus*. Para esse teste foram utilizados os caracteres anatômicos quantitativos de madeira e qualitativos de madeira e folha, sendo dados binários (presença e ausência) e distribuídos em categorias conforme a COPAN (1974), para verificar se amostras das mesmas espécies ficariam agrupadas (Anexos I-III). Para o caractere área de parênquima axial foram utilizadas três categorias de abundância com base no trabalho de Alves & Angyalossy-Alfonso (2002), sendo criados intervalos específicos para

as espécies de *Handroanthus*. Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio dos programas Excel e Past (*Paleontological Statistics*).

3. RESULTADOS

Anatomia da madeira

Seguem as descrições das cinco espécies de *Handroanthus* analisadas neste trabalho. Na tabela 5 foram dispostos os caracteres anatômicos de todas as espécies para melhor comparação e, nas figuras 2 e 3, as imagens mais representativas de cada. Na tabela 6 constam os caracteres quantitativos, bem como os resultados das análises estatísticas.

***Handroanthus barbatus* (E.Mey.) Mattos**

(BCTw13778; RBw970; RBw5432; RBw6842)

Caracteres gerais: madeira com distinção entre cerne e albúrneo; coloração do cerne variando entre castanho, castanho amarelado e castanho pardacento. Madeira com pouco brilho nas superfícies longitudinais. Odor imperceptível. Resistência dura ao corte transversal manual. Textura média a fina. Figura presente, causadas pelo destaque de linhas vasculares e ocasionalmente por faixas longitudinais de cor mais clara devido ao parênquima axial.

Anéis de crescimento: distintos a pouco distintos, delimitados por linhas marginais de parênquima axial e por zonas fibrosas tangenciais mais escuras.

Vasos: visíveis somente sob lente; médios (78%) a pequenos (23%); porosidade difusa; geralmente numerosos (84%), pouco numerosos (10%) e muito numerosos (6%); distribuídos em padrão não definido; predominantemente solitários (91%), múltiplos em cadeias radiais curtas com até três vasos (9%); parte dos vasos obstruídos, por depósitos esbranquiçados e amarelados, raramente alaranjados, e por tilos.

Parênquima axial: contrastado; observado a olho nu; paratraqueal e em linha marginal. Paratraqueal em sua maioria conflúente em trechos curtos e longos derivados do aliforme losangular, ocasionalmente unilateral, sendo que os confluentes longos tendem a formar faixas geralmente próximas à camada de crescimento; comumente ocorre aliforme losangular e raramente aliforme linear de aleta curta.

Raios: visíveis somente sob lente nas superfícies transversal e tangencial; não contrastados; finos (100%); poucos (84%) e às vezes numerosos (16%); extremamente baixos (100%); estratificação regular.

***Handroanthus capitatus* (Bureau & K.Schum.) Mattos**

(FPBw 5329, 5330, 5332, 5335, 5336)

Caracteres gerais: madeira com distinção entre cerne e alburno; coloração do cerne variando entre castanho e castanho alaranjado ou escuro. Madeira com pouco brilho nas superfícies longitudinais. Odor imperceptível. Resistência dura ao corte transversal manual. Textura média a fina. Figura presente causada pelo destaque de linhas vasculares.

Anéis de crescimento: pouco distintos a distintos, delimitados por zonas fibrosas tangenciais mais escuras e por linhas marginais de parênquima axial.

Vasos: visíveis somente sob lente; médios (66%) a pequenos (34%); porosidade difusa; distribuídos em padrão não definido e com tendência ao arranjo diagonal; muito numerosos (80%) na maioria das amostras, seguido de numerosos (15%) e numerosíssimos (5%); predominantemente solitários (90%), múltiplos em cadeias radiais curtas com até quatro vasos (10%); parte dos vasos obstruídos, por depósitos amarelados, esbranquiçados, alaranjados, raramente enegrecidos, e por tilos.

Parênquima axial: contrastado; observado a olho nu; paratraqueal e em linhas marginais. Paratraqueal predomina confluyente longo derivado do aliforme losangular seguindo de confluyente em trechos curtos e aliforme linear de aleta curta e losangular, ambos com porção unilateral.

Observação: em todas as amostras ocorre adensamento de vasos e faixa de parênquima axial em várias camadas de crescimento e há uma pequena gradação na concentração (e às vezes no diâmetro) de vasos ao longo dos anéis. O parênquima confluyente longo é geralmente derivado do aliforme losangular, tendendo a formar faixas (raramente unilaterais).

Raios: visíveis somente sob lente nas superfícies transversal e tangencial; não contrastados; finos (100%); numerosos (57%) ou poucos (43%); extremamente baixos (100%); estratificação regular.

***Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos**

(BCTw: 16422, 20042; FPBw: 2018, 3122, 3124, 3125, 3210, 3242, 4177, 4178, 4179, 4621, 4622, 5337, 5338, 5339, 5340, 5349, 5351, 5352, 5353; MGw 6738)

Caracteres gerais: madeira com distinção entre cerne e albúrnio; coloração do cerne variando entre castanho, castanho alaranjado ou escuro, amarronzado e ocasionalmente castanho amarelado. Madeira com pouco brilho nas superfícies longitudinais. Odor imperceptível. Resistência dura ao corte transversal manual. Textura média a fina. Figura presente, causada pelo destaque de linhas vasculares e em algumas amostras por limites dos anéis de crescimento.

Anéis de crescimento: pouco distintos a distintos, raramente indistintos, delimitados por zonas fibrosas tangenciais mais escuras e por linhas marginais de parênquima axial na maioria das amostras.

Vasos: visíveis somente sob lente; médios (83%) a pequenos (17%); porosidade difusa; muito numerosos (66,5%) a numerosos (33,5%); distribuídos em padrão não definido, com tendência ao arranjo diagonal e raramente tendência ao arranjo radial; predominantemente solitários (88,6%), múltiplos em cadeias radiais curtas com até quatro vasos (11,2%), raramente cadeias longas com cinco vasos (0,1%) e em cachos (0,1%); maioria dos vasos obstruídos, por depósitos amarelados, esbranquiçados, pouco alaranjados e enegrecidos, e por tilos na maioria das amostras.

Parênquima axial: contrastado; observado somente sob lente; paratraqueal e em linhas marginais. Paratraqueal em sua maioria aliforme linear de aleta curta, unilateral e escasso; confluyente em trechos curtos derivado na maioria das vezes do aliforme linear, mas também do losangular; aliforme losangular de aleta curta; raramente confluyente em trechos longos com até sete vasos.

Raios: visíveis somente sob lente nas superfícies transversal e tangencial; não contrastados; finos (100%); poucos (92%), raramente muito poucos (7%) e numerosos (1%); extremamente baixos (100%); estratificação regular.

***Handroanthus incanus* (A.H.Gentry) S.Grose**

(FPBw: 5254; 5257; 5333, 5343, 5346)

Caracteres gerais: madeira com distinção entre cerne e albúrnio; coloração do cerne avermelhado a castanho escuro. Madeira com pouco brilho nas superfícies longitudinais. Odor imperceptível. Resistência dura ao corte transversal manual. Textura média a fina. Figura presente, causada pelo destaque de linhas vasculares.

Anéis de crescimento: distintos a pouco distintos, delimitados por zonas fibrosas tangenciais mais escuras e por linhas marginais de parênquima axial.

Vasos: visíveis somente sob lente; médios (55%) a pequenos (45%); porosidade difusa; muito numerosos (92%), seguidos de numerosos (4%) e numerosíssimos (4%); distribuídos em padrão não definido e com tendência ao arranjo diagonal; predominantemente solitários (93%), múltiplos em cadeias radiais curtas com até quatro vasos (7%); maioria dos vasos obstruídos, por depósitos amarelados, esbranquiçados, alaranjados, raramente enegrecidos, e por tilos.

Parênquima axial: contrastado; observado a olho nu ou somente sob lente; paratraqueal e em linhas marginais. Paratraqueal confluyente em trechos longos, grande parte unilateral e derivados de ambos os aliformes; confluyente em trechos curtos oblíquos seguidos do aliforme linear e losangular de aleta curta; em duas amostras o aliforme predomina sobre o confluyente longo com no máximo 7 vasos; raramente escasso.

Raios: visíveis somente sob lente nas superfícies transversal e tangencial; não contrastados; finos (100%); poucos (64%) a numerosos (36%); extremamente baixos (100%); estratificação regular.

***Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.Grose**

(BCTw: 6624, 16002, 16731; FPBw: 2129, 4332, 5341, 5344, 5345, 5347, 5348, 5350; MGw 2503; RBw: 2610, 2793, 4279, 6852)

Caracteres gerais: madeira com distinção entre cerne e alborno; coloração do cerne variando entre castanho e castanho escuro na maioria das amostras, ocasionalmente castanho amarelado ou alaranjado. Madeira com pouco brilho nas superfícies longitudinais. Odor imperceptível. Resistência dura ao corte transversal manual. Textura fina a média. Figura presente, causada pelo destaque de linhas vasculares.

Anéis de crescimento: pouco distintos a distintos, delimitados por zonas fibrosas tangenciais mais escuras e por linhas marginais de parênquima axial.

Vasos: visíveis somente sob lente; pequenos (56%) e médios (44%); porosidade difusa; numerosos (57%) a muito numeroso (43%); distribuídos em padrão não definido; predominantemente solitários (92,6%), múltiplos em cadeias radiais curtas com até quatro vasos (7,3%) e raramente em cachos (0,1%); maioria dos vasos obstruídos, por depósitos amarelados, esbranquiçados, poucos alaranjados, raramente enegrecidos, e por tilos na maioria das amostras.

Parênquima axial: contrastado; observado somente sob lente; paratraqueal e em linhas marginais. Paratraqueal confluyente em trechos curtos derivado do aliforme losangular, em parte unilateral;

aliforme losangular e confluyente em trechos longos de até sete vasos; às vezes aliforme linear de aleta curta e raramente escasso.

Raios: visíveis somente sob lente nas superfícies transversal e tangencial; não contrastados; finos (100%); poucos (98%) e raramente numerosos (2%); extremamente baixos (100%); estratificação regular.

Tabela 5. Características gerais e anatômicas macroscópicas das espécies *Handroanthus barbatus* (Hbar), *Handroanthus capitatus* (Hcap), *Handroanthus impetiginosus* (Himp), *Handroanthus incanus* (Hinc) e *Handroanthus serratifolius* (Hser). Classificação: mais predominante (1) para o menos predominante (5). X = presença.

Espécie	<i>Handroanthus</i>				
	<i>bar</i>	<i>cap</i>	<i>imp</i>	<i>inc</i>	<i>ser</i>
CARACTERES GERAIS					
Coloração do cerne avermelhado				x	
Textura:					
fina (diâmetro dos vasos < 0,1mm)	2	2	2	2	1
média (diâmetro dos vasos de 0,1 a 0,3mm)	1	1	1	1	2
Figura (tipo, observadas na superfície longitudinal):					
causadas por limites dos anéis de crescimento em forma de "V" ou "U"			2		
causadas pelo destaque de linhas vasculares	1	x	1	x	1
causadas por faixas longitudinais de cor mais clara devido ao parênquima axial	2				
ANÉIS DE CRESCIMENTO					
indistintos			3		
pouco distintos	2	1	1	1	1
distintos	1	2	2	2	2
VASOS					
Diâmetro tangencial	%	%	%	%	%
pequenos (0,06 - 0,10mm)	23	34	17	45	56
médios (0,11 - 0,20mm)	77	66	83	55	44
Densidade em 10mm ²	%	%	%	%	%
pouco numerosos (31 - 65)	10				
numerosos (66 - 125)	84	15	33	4	57
muito numerosos (126 - 250)	6	80	67	92	43
numerosíssimos (> 251)		5		4	
Agrupamento	%	%	%	%	%
em grupos radiais curtos (de 2 a 4 vasos)	9	10	11,2	7	7,3
em grupos radiais longos (5 vasos)			0,1		
em cachos			0,1		0,1
Arranjo					
tendência a cadeias diagonais		2	2	2	
tendência a cadeias radiais			3		
padrão não definido	x	1	1	1	x
Depósitos nos vasos no cerne					
parte dos vasos obstruídos (menos que 60%)	1	1	2	2	2
maioria dos vasos obstruídos (mais que 60%)	2	2	1	1	1
Tipos:					

substância de cor esbranquiçada	1	2	1	2	1
substância de cor amarelada	2	1	1	1	1
substância de cor alaranjada		3	2	3	2
substância de cor enegrecida		4	3	4	4
PARÊNQUIMA AXIAL					
Visibilidade					
observado a olho nú	x	1		1	
observado somente sob lente		2	x	2	x
Contraste (transversal)					
contrastado	x	x	x	x	1
pouco contrastado					2
Paratraqueal (tipos)					
escasso			2	4	5
aliforme linear ou losangular de aleta curta		3	1	3	3
aliforme losangular	3	4	4	3	2
confluente em trechos curtos	1	2	3	2	1
confluente em trechos longos (>4vasos) podendo formar faixas	2	1	5	1	3
unilateral		3	1	1	1
Em faixas (tipos):					
linhas marginais ou simulando linhas marginais	4	5	5	4	4
Área de parênquima axial:					
área de parênquima em 0,1mm ²	0,05	0,03	0,01	0,02	0,02
RAIOS					
Densidade (número de raios em 5 mm)	%	%	%	%	%
muito poucos (< 25)			7		
poucos (26 - 50)	84	43	92	64	98
numerosos (51 - 80)	16	57	1	36	2
ESTRUTURAS ESTRATIFICADAS					
Número de listras de estratificação por mm axial	4,4	4,4	3,8	4,1	3,41

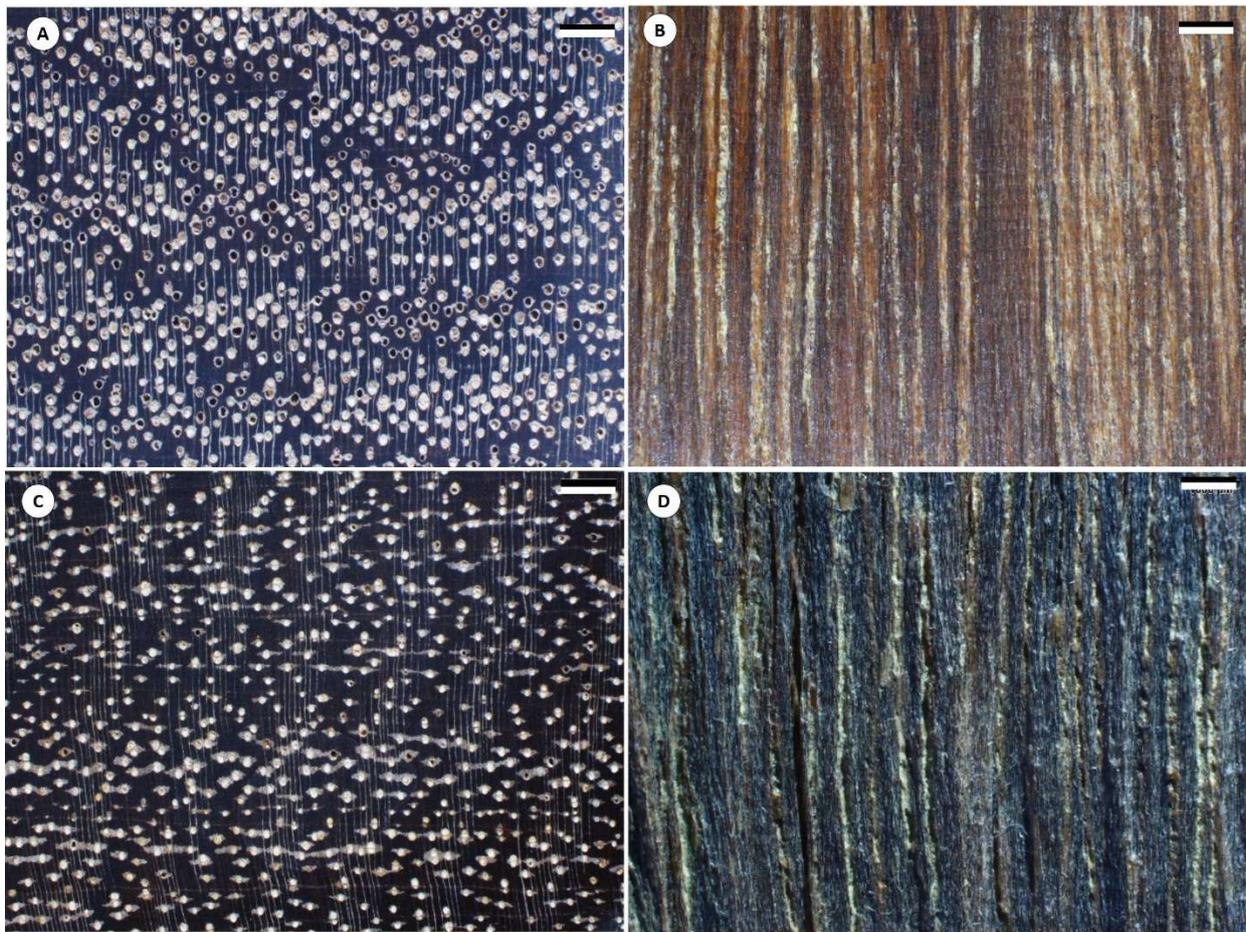


Figura 2. Seções transversal e longitudinal tangencial de *Handroanthus impetiginosus* (A, B) e *Handroanthus serratifolius* (C, D). Escala = 1mm

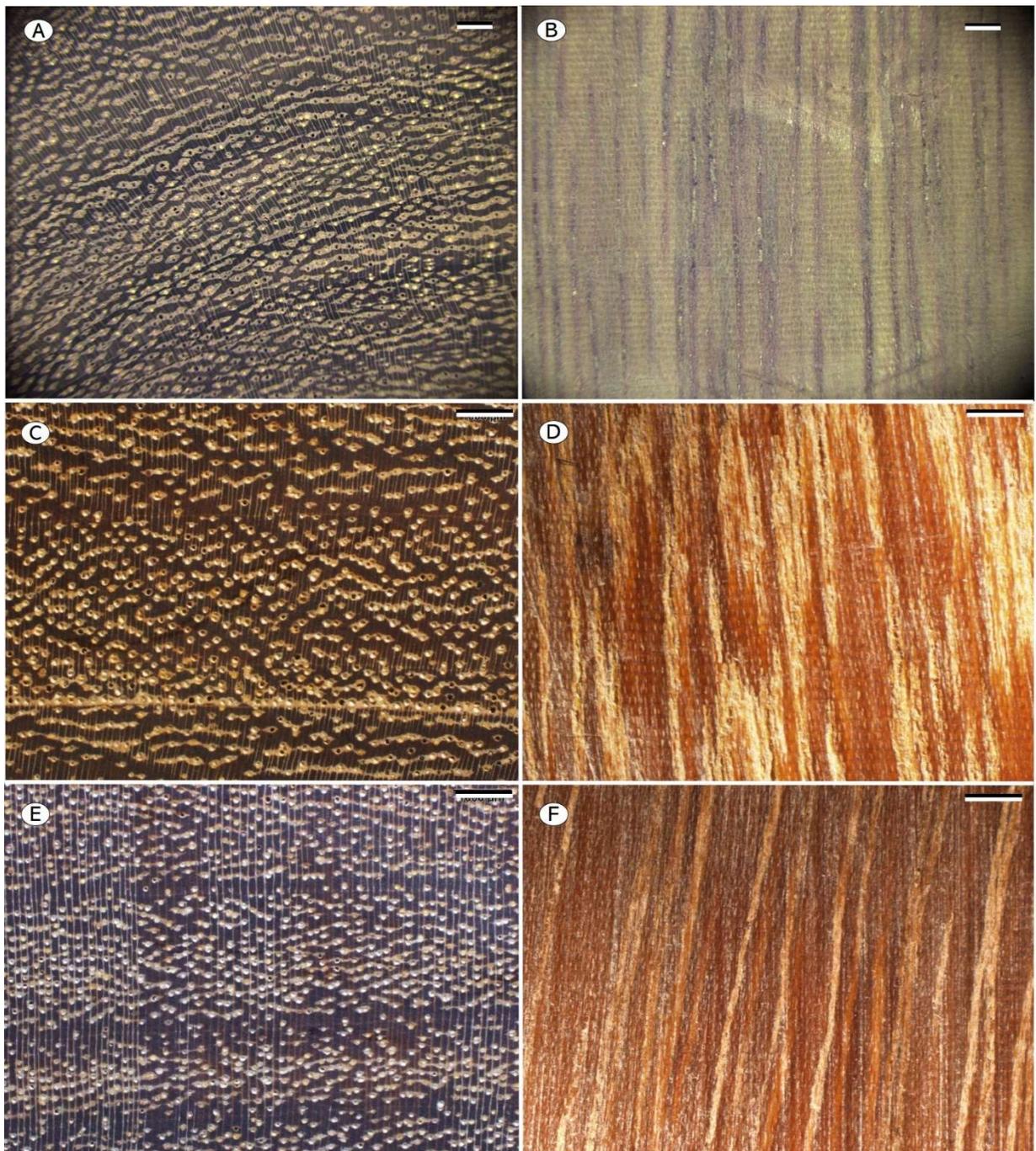


Figura 3. Seções transversal e longitudinal tangencial de *Handroanthus barbatus* (A, B), *Handroanthus capitatus* (C, D) e *Handroanthus incanus* (E, F). Escala = 1mm

Tabela 6. Dados quantitativos para as cinco espécies de *Handroanthus* com as médias (M), mínimo e máximo (mín-máx) e desvio padrão (DP). Caracteres avaliados: diâmetro de vasos (DiV), densidade de vasos (DeV), largura de raios (LR), altura de raios (AR), densidade de raios (DeR), listras de estratificação por mm axial (LE) e área de parênquima axial (AP) em 0,1mm². As médias com as mesmas letras nas linhas não diferem estatisticamente nos testes ANOVA e Tukey ($p < 0,05$).

Características						
anatômicas		<i>H. barbatus</i>	<i>H. capitatus</i>	<i>H. impetiginosus</i>	<i>H. incanus</i>	<i>H. serratifolius</i>
DiV (mm)	M	0,116 ^c	0,109 ^{bc}	0,121 ^d	0,105 ^b	0,098 ^a
	mín-máx	0,075-0,161	0,059-0,151	0,059-0,188	0,068-0,154	0,056-0,171
	DP	0,019	0,019	0,021	0,019	0,018
DeV (n°/10 mm ²)	M	83,862 ^a	161,870 ^d	136,796 ^c	183,410 ^c	122,061 ^b
	mín-máx	57-151	102-296	71,5-209	118-277	75-198,5
	DP	18,611	43,819	26,279	32,508	22,826
LR (5 mm)	M	0,021 ^b	0,023 ^b	0,029 ^c	0,019 ^a	0,022 ^b
	mín-máx	0,010-0,034	0,014-0,038	0,014-0,052	0,010-0,028	0,010-0,038
	DP	0,004	0,005	0,007	0,003	0,004
AR (mm)	M	0,135 ^a	0,164 ^b	0,184 ^c	0,158 ^b	0,197 ^d
	mín-máx	0,074-0,197	0,109-0,224	0,101-0,301	0,112-0,213	0,124-0,294
	DP	0,028	0,025	0,037	0,020	0,032
DeR (n°/5mm)	M	42,000 ^b	50,427 ^d	35,238 ^a	47,613 ^c	41,269 ^b
	mín-máx	31-62	35-70	15-53	34-67	30-59
	DP	7,312	9,265	6,432	7,732	4,479
LE	M	4,425 ^d	4,383 ^d	3,800 ^b	4,080 ^c	3,411 ^a
	mín-máx	4-5	3-5	3-5	4-5	2,5-5
	DP	0,452	0,566	0,426	0,209	0,512
AP (mm ²)	M	0,046 ^c	0,026 ^d	0,013 ^a	0,020 ^b	0,023 ^c
	mín-máx	0,021-0,072	0,009-0,064	0,001-0,066	0,005-0,043	0,006-0,072
	DP	0,009	0,010	0,007	0,007	0,009

Na análise de componentes principais (PCA), os três primeiros componentes explicaram 83,82% das variáveis, sendo 62,10% explicado pelo PC1, 13,14% pelo PC2 e 8,62% pelo PC3. A partir dessa análise de PCA foi possível verificar a formação de um grupo correspondente à espécie *H. impetiginosus* e um outro grupo distinto com amostras da espécie *H. barbatus* (Fig. 4).

Com relação ao componente 1 da PCA, a característica de área de parênquima axial (AP) foi a que mais contribuiu positivamente para separação de *H. barbatus* (Fig. 4A). Quanto ao

componente 2, as variáveis largura de raio (LR), diâmetro de vaso (DV) e altura de raio (AR) contribuíram negativamente para separação das espécies, enquanto as densidades de raios/mm (FR) e vasos/mm² (FV) contribuíram positivamente.

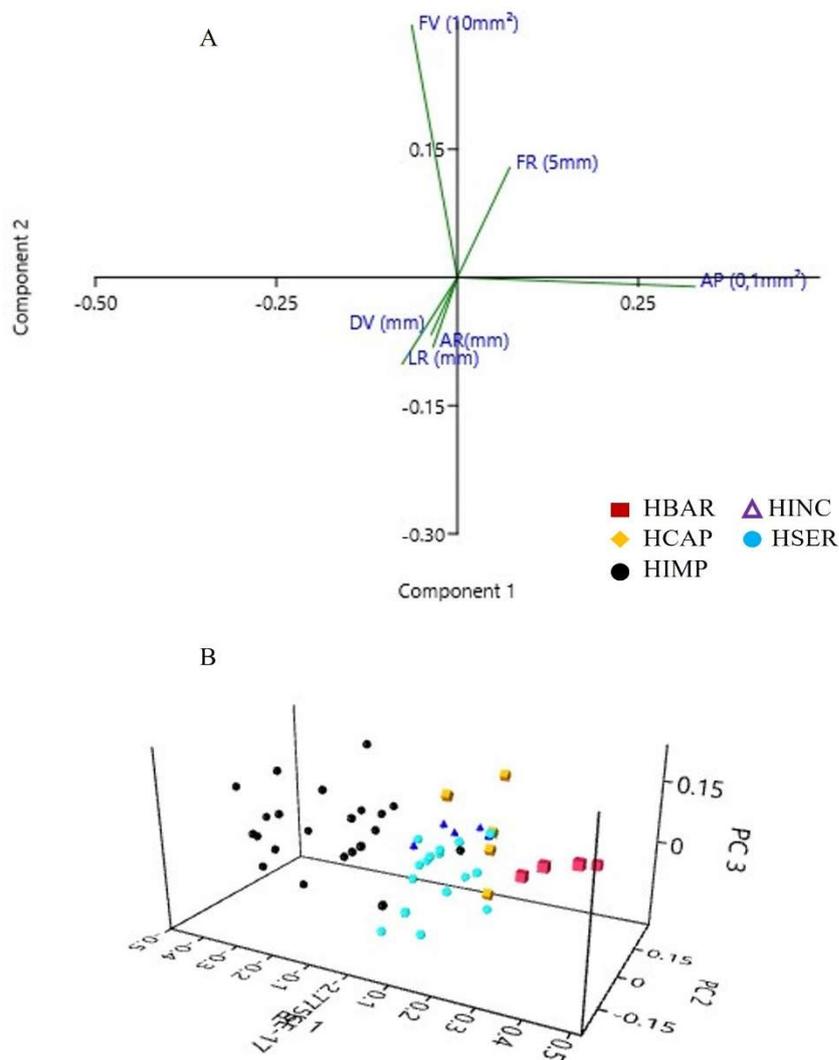


Figura 4. Análise de componentes principais (PCA) com as variáveis quantitativas: diâmetro de vaso (DV), densidade de vasos (FV), altura de raio (AR), largura de raio (LR), densidade de raios (FR) e área de parênquima (AP), para as espécies *Handroanthus barbatus* (Hbar), *H. capitatus* (Hcap), *H. impetiginosus* (Himp), *H. incanus* (Hinc) e *H. serratifolius* (Hser). Gráficos Scatter Plot (A) e 3D Scatter (B).

A análise de agrupamento pelo índice de similaridade de Jaccard (Fig. 5) mostrou também uma tendência à separação de grupos com indivíduos da mesma espécie quando avaliadas somente características da madeira. A matriz dos dados com as características utilizadas para compor o Jaccard está no Anexo I.

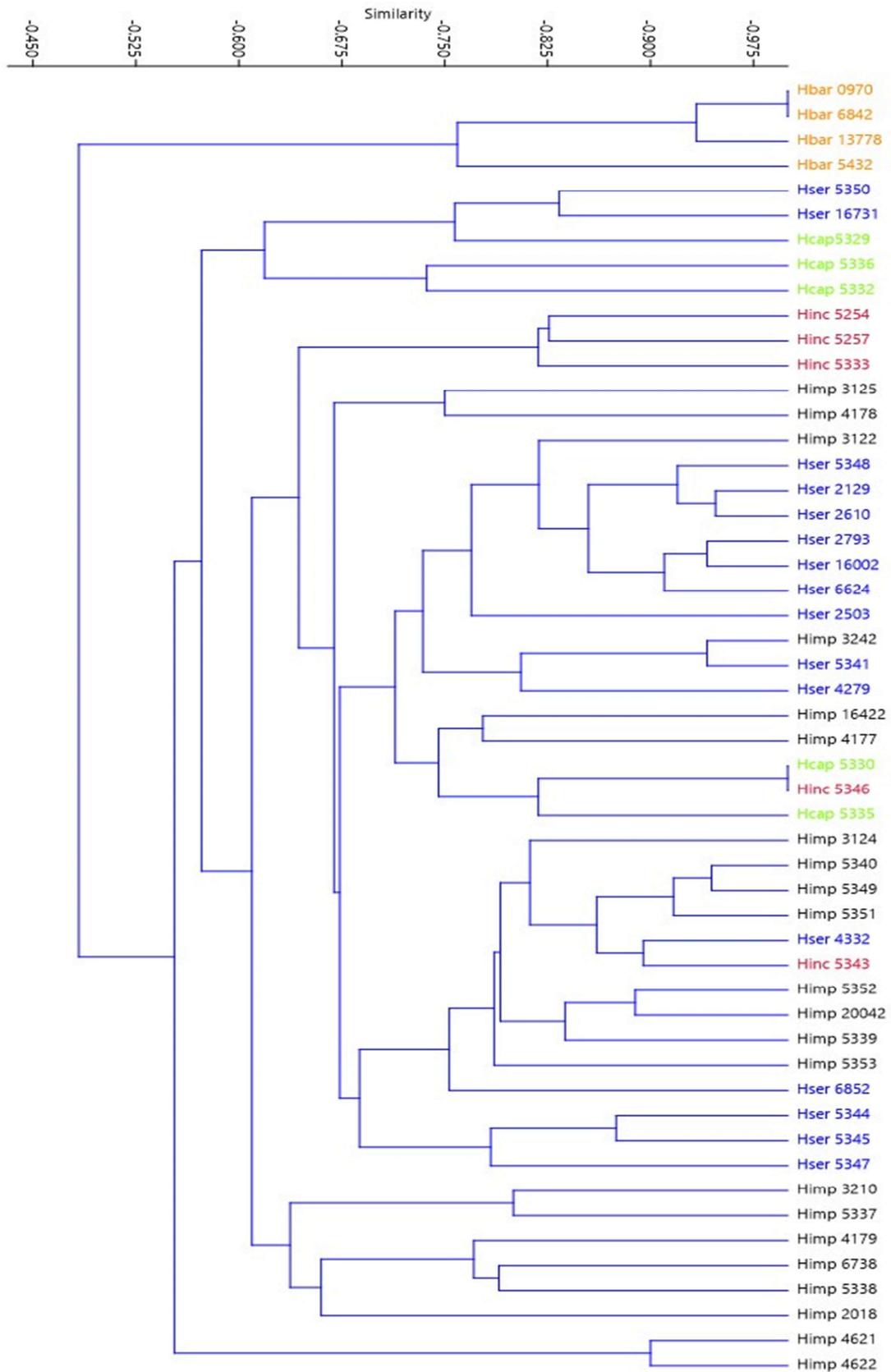


Figura 5. Índice de similaridade de Jaccard utilizando caracteres gerais e anatômicos da madeira (qualitativos e quantitativos), entre indivíduos das espécies *Handroanthus barbatus* (Hbar), *H. capitatus* (Hcap), *H. impetiginosus* (Himp), *H. incanus* (Hinc) e *H. serratifolius* (Hser).

A partir das análises sobre as características gerais e anatômicas das madeiras das cinco espécies de *Handroanthus* foi elaborada uma chave dicotômica para identificação das espécies (Tabela 7):

Tabela 7. Chave de identificação dicotômica para as espécies *Handroanthus barbatus*, *H. capitatus*, *H. impetiginosus*, *H. incanus* e *H. serratifolius*.

1a	Parênquima axial predominantemente confluyente em trechos longos (>4vasos), podendo formar faixas unilaterais, vasos (92%) muito numerosos (126-250/mm ²); coloração do cerne avermelhado ou em tons de castanho escuro e amarronzado	<i>H. incanus</i>
1b	Parênquima axial confluyente curto e longo, aliforme losangular e linear, e unilateral; coloração do cerne em tons de castanho amarelado a castanho escuro e amarronzado.....	2
2a	Parênquima axial predominantemente aliforme linear/losangular de aleta curta, escasso, às vezes confluyente curto e nunca em trechos longos, somente observado sob lente e em pouca quantidade (área <10%); vasos predominantemente (82%) de diâmetro médio (0,11 – 0,20 mm); raios predominantemente (92%) pouco frequentes (26-50)	<i>H. impetiginosus</i>
2b	Parênquima axial predominantemente confluyente em trechos curtos à longos.....	3
3a	Parênquima axial em grande quantidade (área ca. de 50%), com as células visivelmente maiores sob lente de 10x, predominante em trechos curtos à longos e, pouco losangular; vasos predominantemente (77%) de diâmetro médio (0,11 – 0,20 mm) e (84%) numerosos (66 – 125), parcialmente obstruídos por substância de cor esbranquiçada e amarelada.....	<i>H. barbatus</i>
3b	Vasos com proporções semelhantes de pequenos e médios (0,06 – 0,20 mm), parcialmente ou a maioria obstruídos por substâncias de cor amarelada, alaranjada e enegrecida; parênquima axial em pouca quantidade (área menor que 30%)	4
4a	Parênquima axial confluyente em trechos curtos, unilateral; raios predominantemente (98%) poucos (26–50); vasos predominantemente (56%) de diâmetro pequeno (<0,1mm), observados somente sob lente	<i>H. serratifolius</i>
4b	Início das camadas de crescimento com concentração de vasos; parênquima axial confluyente em trechos longos e geralmente oblíquo, podendo formar faixas no limite das camadas; pequena diminuição na concentração e no diâmetro de vasos ao longo dos anéis.....	<i>H. capitatus</i>

Morfologia das folhas

Seguem as descrições da morfologia foliar das espécies *Handroanthus impetiginosus* e *H. serratifolius*, bem como uma tabela com as principais diferenças encontradas (Tabela 8).

***Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos**

Folhas compostas, digitadas; opostas, cruzadas, frequentemente anisófilas; com 3-7 folíolos geralmente elípticos, estreito e largo-elípticos ou ovalados, de 2 a 17 cm de comprimento e de 1,4 a 7,5 cm de largura; ápices acuminados, às vezes arredondados ou retusos, bases arredondadas a cuneadas; margens inteiras; nervação broquidódroma, com domácias nas axilas das nervuras primárias com as secundárias, do tipo tufo de pelos, formadas por tricomas simples; pecíolos, em folhas juvenis acanalados, de 4 a 12 cm de comprimento e peciólulos acanalados de 0,5 a 4,5 cm de comprimento; sem estípulas; folíolos cartáceos; concolores; lepidotos nas faces abaxial e adaxial, tricomas simples nas folhas juvenis; com glândulas laminares pateliformes dispersas na face abaxial e peltadas.

***Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.Grose**

Folhas compostas, digitadas; opostas, cruzadas, frequentemente anisófilas; com 3-7 folíolos geralmente elípticos, estreito e largo-elípticos ou ovalados, de 5,4 a 18,5 cm de comprimento e 2,3 a 6,6 cm de largura; ápices acuminados, às vezes arredondados ou retusos, bases arredondadas a cuneadas; margens inteiras ou serreadas; nervação broquidódroma, com domácias nas axilas das nervuras primárias com as secundárias, do tipo cripta, geralmente com tricomas simples franjando as domácias; pecíolos, em folhas juvenis acanalados, de 4,8 a 10,5 cm de comprimento e peciólulos acanalados de 1 a 4,9 cm de comprimento; sem estípulas; folíolos cartáceos; concolores; lepidotos na face abaxial, tricomas estrelados nas folhas juvenis; com glândulas laminares pateliformes dispersas na face adaxial e ocasionalmente na base dos folíolos na face abaxial e peltadas.

Tabela 8. Características morfológicas das folhas que diferem as exsicatas avaliadas das espécies *Handroanthus impetiginosus* e *Handroanthus serratifolius*. * caracteres não diferem estatisticamente no Teste T ($p < 0,05$)

Espécies	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	<i>Handroanthus serratifolius</i>
Caracteres		
Margem das lâminas	lisa	serreada ou lisa
Domácias	do tipo tufo de pelos, formadas por tricomas simples	do tipo cripta, geralmente com tricomas simples franjando as domácias
Lepidotos	nas faces abaxial e adaxial	na face abaxial
Tricomas nas folhas juvenis	simples	estrelados
Glândulas pateliformes	dispersos na face abaxial	dispersos na face adaxial e ocasionalmente na base dos folíolos na face abaxial
Comprimento dos folíolos (* $p=0,81$)	2 a 17 cm	5,4 a 18,5 cm
Largura dos folíolos (* $p=0,55$)	1,4 a 7,5 cm	2,3 a 6,6 cm
Comprimento dos peciólulos (* $p=0,25$)	0,5 a 4,5 cm	1 a 4,9 cm
Comprimento dos peciolos (* $p=0,62$)	4 a 12 cm	4,8 a 10,5 cm

A partir das observações das folhas, sugere-se que as características morfológicas mais representativas para separação das duas espécies de *Handroanthus* sejam a margem das lâminas foliares, o tipo de domácias e a localização das glândulas pateliformes (Fig. 6). Os demais caracteres: presença de indumento lepidoto, tipos de tricomas em folhas juvenis e dados de largura e comprimento das estruturas não podem ser considerados significativos para diferenciar as espécies pois houve grande variação intraespecífica e poucas amostras analisadas.

Considerando o teste T de Student a 5%, os caracteres quantitativos de comprimento dos folíolos, peciolos e peciólulos e de largura dos folíolos não são diferentes estatisticamente entre as duas espécies avaliadas.

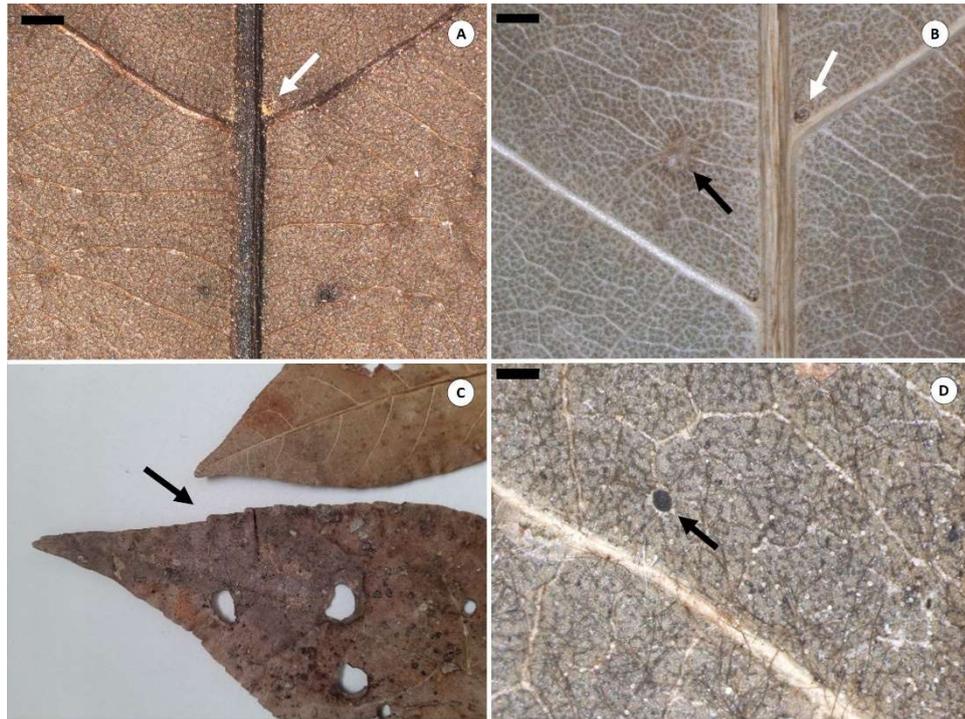


Figura 6. Características morfológicas das folhas de *H. impetiginosus* (A e D) e *H. serratifolius* (B e C), com destaque para A: domácias do tipo “tufo de pelos” formadas por tricomas simples (seta branca), B: domácias do tipo cripta (seta branca) e verso da glândula pateliforme na face abaxial (seta preta), C: margem serrada dos folíolos (seta preta), D: glândula pateliforme na face abaxial. Escalas: 1mm (A e B), 500 μ m (D).

A análise de agrupamento pelo índice de similaridade de Jaccard permitiu a separação das espécies *Handroanthus impetiginosus* e *Handroanthus serratifolius*, no que se refere às características morfológicas das folhas, conforme observado na figura 7.

Conforme a matriz de dados utilizada para esta análise de agrupamento (Anexo II), o caractere referente à localização das glândulas pateliformes foi responsável pela separação das duas espécies. A amostra Hser1672 apresentou maior distância de similaridade das outras amostras de *Handroanthus serratifolius*, provavelmente porque se trata de uma exsicata com folhas juvenis e não foram observadas as glândulas esparsas na face adaxial dos folíolos.

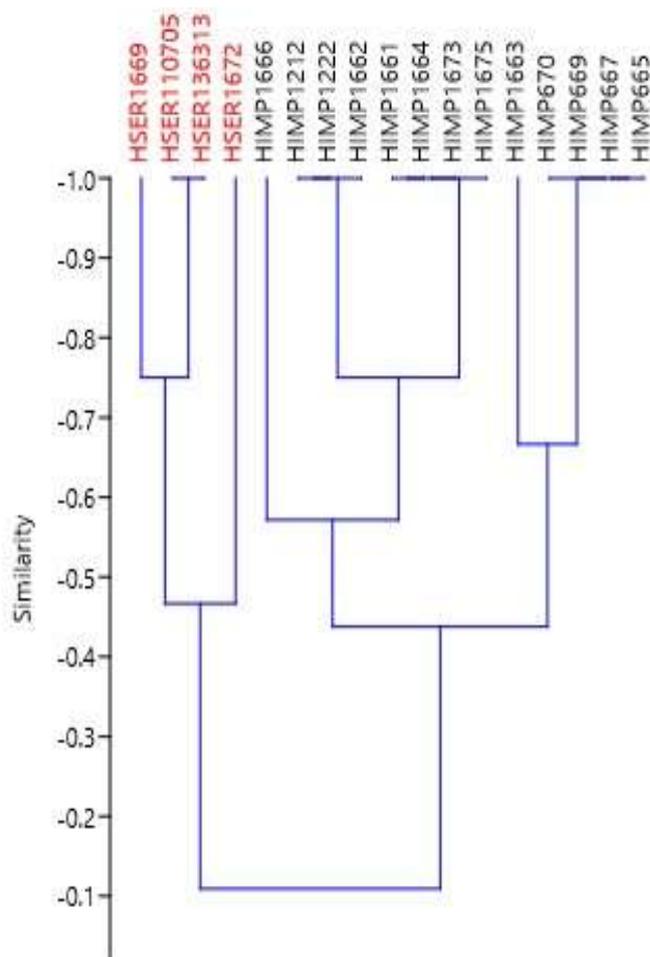


Figura 7. Análise de agrupamento baseado no coeficiente de similaridade de Jaccard, entre as espécies *Handroanthus impetiginosus* (Himp) e *H. serratifolius* (Hser), considerando apenas as características das exsicatas.

Ao se juntar as características de madeiras e folhas, a análise de agrupamento também possibilitou a distinção das espécies (Fig. 8). Foi retirada apenas uma amostra (Himp5342), pois a madeira apresentava uma provável saída de ramo e não foi possível classificá-la como *H. impetiginosus* pela análise anatômica. Além disso, a exsicata foi identificada como *Handroanthus* cf. *impetiginosus* pois eram folha juvenis.

Segundo a matriz de dados utilizada para esta análise de agrupamento (Anexo III), os caracteres que contribuíram para separação das duas espécies foram: margem dos folíolos serreada, domácias do tipo cripta e do tipo tufo de pelos, e glândulas esparsas na face abaxial das folhas.

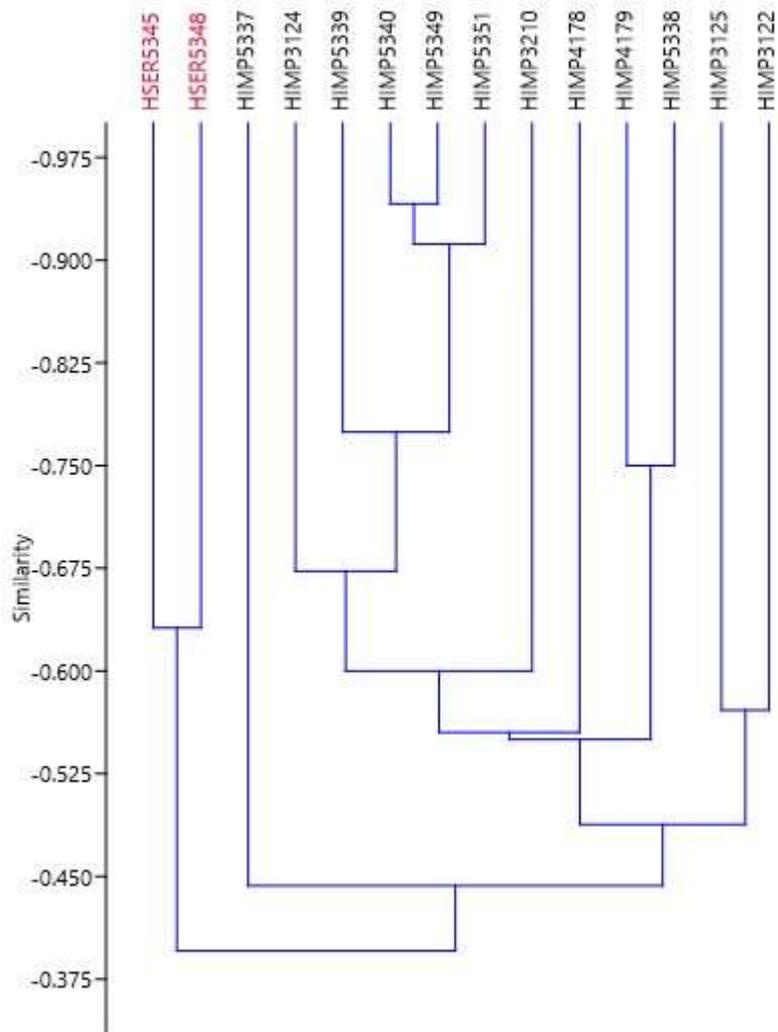


Figura 8. Análise de agrupamento baseado no coeficiente de similaridade de Jaccard, entre as espécies *Handroanthus impetiginosus* (Himp) e *Handroanthus serratifolius* (Hser), considerando características de madeira e folhas.

A partir das descrições das folhas, bem como das análises anatômicas macroscópicas da madeira, foi elaborada uma chave de identificação de múltiplo acesso para as espécies *Handroanthus impetiginosus* e *Handroanthus serratifolius* (Tabela 9).

Tabela 9. Chave de identificação de múltiplo acesso para as espécies *Handroanthus impetiginosus* (*H. imp*) e *Handroanthus serratifolius* (*H. ser*) utilizando características de madeira e folha.

FOLHAS		Margem da lâmina foliar		Domácias		Glândulas pateliformes	
		Inteira	Inteira ou serrada	Tricomas simples formando “tufos de pelos”	Cavidades (cripta), com ou sem tricomas simples	Dispersas na face abaxial	Dispersas na face adaxial
MADEIRA							
Vasos	Maioria de diâmetro médio (entre 0,11 e 0,2 mm)	<i>H. imp</i>		<i>H. imp</i>		<i>H. imp</i>	
	Maioria de diâmetro pequeno (menor que 0,1 mm)		<i>H.ser</i>		<i>H.ser</i>		<i>H.ser</i>
Parênquima axial	Predomina aliforme linear ou losangular aleta curta, unilateral e escasso	<i>H. imp</i>		<i>H. imp</i>		<i>H. imp</i>	
	Predomina confluyente trechos curtos, aliforme losangular e ocorre confluyente em trechos longos		<i>H.ser</i>		<i>H.ser</i>		<i>H.ser</i>

4. DISCUSSÃO

É possível separar as madeiras utilizando somente as características macroscópicas?

A partir da comparação das madeiras das cinco espécies de *Handroanthus* foi possível observar que as principais características anatômicas macroscópicas que permitem distingui-las estão relacionadas aos elementos de vaso e ao tipo de parênquima axial (ver Tabela 7), corroborando com o trabalho de Santos (2017), que sugere que o parênquima axial seja um dos caracteres potencialmente úteis para identificação das madeiras do gênero.

Nenhuma das chaves de identificação encontradas (ver Camargos 1996, Richter & Dallwitz 2000, IPT 2006, Coradin et al. 2010, Trevizor 2011, Richter et al. 2014, Florsheim et al. 2020, Brandes et al. 2021), utilizou essas cinco espécies. Nos trabalhos de Richter & Dallwitz (2000) e do

IPT (2006), as diferentes espécies de *Handroanthus* não foram separadas, já na chave de identificação de Trevizor (2011), as espécies *H. impetiginosus* e *H. serratifolius* foram separadas apenas pelas características de coloração do cerne e presença de parênquima marginal. Entretanto, no presente trabalho ambas apresentaram essa característica anatômica. Na chave de múltiplo acesso disponível em Coradin et al. (2010) constam cinco espécies de *Handroanthus*: *H. impetiginosus*, *H. incanus*, *H. ochraceus*, *H. serratifolius* e *H. umbellatus*, que foram separadas por caracteres gerais, como coloração e brilho do cerne, e tipos de parênquima axial.

Apesar da coloração do cerne ser uma característica mais subjetiva e que varia bastante dentro da mesma espécie, foi observado no presente trabalho que a cor avermelhada ocorreu somente entre as amostras de *H. incanus*, podendo ser, portanto, utilizada para auxiliar na identificação dessa espécie, além da alta densidade de vasos e parênquima axial predominantemente confluyente em trechos longos, podendo formar faixas unilaterais. No trabalho de Trevizor (2011) também foi observada essa característica do parênquima em trechos longos em *H. incanus*, entretanto em Coradin et al. (2010) essa mesma espécie foi descrita com parênquima axial vasicêntrico ou confluyente em trechos curtos.

A espécie *Handroanthus barbatus* foi a que apresentou menor frequência de vasos e maior área de parênquima axial. Ainda, é possível perceber que essas células têm um tamanho maior quando comparada com o parênquima das outras espécies e foi importante para distinção da espécie entre as cinco estudadas. *H. barbatus* também foi descrita no trabalho de Pace et al. (2015), quanto às suas características microscópicas. Foram observados os mesmos tipos de demarcação das camadas de crescimento, bem como o parênquima axial aliforme e confluyente em trechos curtos. No entanto, no estudo de Pace et al. (2015) não há informação sobre densidade de vasos ou porcentagem de área de parênquima axial, por falta de amostras disponíveis.

Por outro lado, *Handroanthus impetiginosus* se destacou das demais pela menor quantidade de parênquima axial, predominando o paratraqueal aliforme linear de aleta curta, unilateral e escasso. Esta característica do parênquima axial também foi descrita para *H. impetiginosus* nos trabalhos de Coradin et al. (2010), Trevizor (2011) e Albuquerque (2012).

Handroanthus serratifolius se diferenciou pela maior quantidade de vasos de diâmetro pequeno, enquanto nas outras espécies predominou os de diâmetro médio. Essa característica foi descrita no trabalho de Coradin et al. (2010), porém não foi suficiente para separação da espécie, uma vez que todos os cinco *Handroanthus* descritos apresentavam diâmetro pequeno dos vasos (menor que 100 μm). Já no trabalho de Florsheim et al. (2020), no qual apenas essa espécie foi descrita, o diâmetro dos vasos foi classificado de médios a pequenos.

Handroanthus capitatus teve o início das camadas de crescimento com concentração de vasos e parênquima axial confluyente longo, geralmente oblíquo, podendo formar faixas, com pequena diminuição na concentração ao longo dos anéis. A maior densidade de vasos também consta na descrição da espécie disponível no website “InsideWood” (<https://insidewood.lib.ncsu.edu/>), no entanto, o parênquima axial confluyente, predominante nas amostras do presente trabalho, não foi observado nessa outra descrição encontrada sobre as características microscópicas.

Considerando as características gerais e anatômicas da madeira, a distinção observada entre as espécies *H. barbatus*, *H. impetiginosus* e *H. serratifolius* pôde ser constatada pela análise de agrupamento (ver Fig. 5), em que foram utilizadas características qualitativas e quantitativas (categorizadas). Por outro lado, as distâncias de similaridade não permitiram a visualização de grupos distintos das espécies *H. capitatus* e *H. incanus*, pois elas se misturaram tanto com *H. impetiginosus* quanto com *H. serratifolius*, refletindo a semelhança que pode ocorrer entre as espécies de *Handroanthus*. De acordo com Gonçalves et al. (2021) e Coradin et al. (2010) é normal a semelhança entre as espécies desse gênero, sendo de difícil distinção pelas características anatômicas da madeira.

As demais descrições macroscópicas encontradas para três das espécies estudadas (Mainieri & Chimelo 1989, Coradin et al. 2010, Trevizor 2011, Florsheim et al. 2020) se assemelham às características observadas nas madeiras deste estudo. No entanto, como foram analisadas mais amostras de cada espécie, a variação intraespecífica encontrada neste trabalho foi maior, principalmente quanto às características sobre o parênquima axial.

Na análise de componentes principais (Fig. 4), quando foi utilizado somente as características quantitativas, foi possível observar a formação de grupos distintos das espécies *H. impetiginosus* e *H. barbatus*, porém houve mistura entre amostras de *H. capitatus*, *H. incanus* e *H. serratifolius*. Esse aspecto observado tanto no Jaccard quanto na PCA, de mistura entre as espécies, demonstra a grande variação intraespecífica que pode ocorrer entre grupos do mesmo gênero, também constatado no trabalho de Gasson et al. (2010), no qual se afirmam que estas variações podem ser maiores do que aquelas encontradas entre indivíduos da mesma espécie.

Em um trabalho de comparação do lenho de duas espécies de *Handroanthus*, porém utilizando a microscopia, Amado et al. (2015) verificaram a possibilidade de distinção de *H. impetiginosus* e *H. avellanadae* por meio das características do parênquima e fibras. No entanto, atualmente esses dois táxons são considerados sinônimos pela taxonomia botânica (Flora do Brasil), o que demonstra novamente as variações intraespecíficas que podem ocorrer nas espécies desse gênero.

Podemos distinguir *H. impetiginosus* e *H. serratifolius* somente pelas folhas?

Com relação às duas espécies de *Handroanthus* mais comercializadas atualmente no Brasil, *H. impetiginosus* e *H. serratifolius*, foi observado que é possível diferenciá-las pela morfologia das folhas, o que pôde ser visualizado na análise de agrupamento de Jaccard (Fig. 7). O trabalho de Rodrigues (2012) também contemplou essas duas espécies, e na chave de identificação baseada em caracteres vegetativos foi possível separá-las pela margem dos folíolos. Em outros trabalhos, como de Pereira & Mansano (2008), Santos et al. (2013) e Duarte & Romero (2020), também foram incluídas essas espécies, porém as chaves de identificação se basearam principalmente em órgãos reprodutivos.

No presente trabalho, foi observado que os caracteres diagnósticos para identificação das duas espécies de *Handroanthus* foram a margem das lâminas foliares, o tipo de domácias e a localização dos tricomas glandulares. As características morfológicas descritas foram semelhantes à outras descrições encontradas para folhas de *Handroanthus impetiginosus* (Rodrigues 2012, Santos et al. 2013) e de *Handroanthus serratifolius* (Pereira & Mansano 2008, Obermüller et al. 2011, Rodrigues 2012, Duarte & Romero 2020). Os caracteres relacionados aos tricomas e domácias que possibilitaram a separação das espécies, também foram observados nos trabalhos de Gentry (1992), Silva Junior (2005), Grose & Olmstead (2007) e Lohmann (2022). Conforme já constatado por Nogueira et al. (2013) e Fróes et al. (2015), os tricomas são estruturas de alto valor taxonômico na família Bignoniaceae, devido à grande diversidade de formas e funções que essas estruturas apresentam.

Silva et al. (2009) compararam a anatomia foliar de seis espécies de *Handroanthus* com propriedades medicinais, entre eles *H. impetiginosus* e *H. serratifolius*, visando a identificação e reconhecimento dos ipês. Entre outras características anatômicas, como estômatos e parênquima, foram observados como caracteres diagnósticos as domácias e epiderme dos folíolos e pecíolos, assim como no presente estudo. Considerando que são estruturas taxonômicas importantes, foi constatado que o tipo, distribuição e a anatomia dos tricomas e domácias merecem estudos mais detalhados em *Handroanthus* e *Tabebuia* (Silva et al. 2009).

O resultado do Teste T com 5% de significância demonstrou que as duas espécies de *Handroanthus* não diferem estatisticamente quanto às características quantitativas das folhas. No entanto, seria necessária avaliação de maior quantidade de exsicatas para resultados mais conclusivos. Nos trabalhos de taxonomia consultados (ver Souza & Oliveira 2004, Pereira & Mansano 2008, Santos et al. 2013, Duarte & Romero 2020), sobre descrições botânicas e levantamentos florísticos, não foram encontradas análises estatísticas acerca dos caracteres quantitativos das folhas.

As chaves de múltiplo acesso são mais eficientes?

A partir dos resultados desse trabalho, constatou-se que na ausência dos órgãos reprodutivos é possível distinguir as espécies *H. impetiginosus* e *H. serratifolius* utilizando esse tipo de chave de identificação (ver Tabela 9) e diferentes estruturas das plantas. Não foram encontradas chaves de múltiplo acesso que agrupassem as características de madeiras e folhas de espécies de *Handroanthus*, sendo esta a primeira.

A chave de identificação de múltiplo acesso, resultado desse trabalho, se mostrou mais eficiente pois foi possível a compilação de menor quantidade de caracteres necessários para identificação das espécies, facilitando a utilização em campo. Conforme já apontado por Espírito-Santo et al. (2013), a flexibilidade de se iniciar a identificação por qualquer caráter é uma das principais vantagens desse tipo de chave, juntamente com a aplicação combinada de caracteres, possibilitando uma análise mais rápida e precisa.

A separação das espécies foi confirmada pela análise de agrupamento de Jaccard, na qual foram utilizadas em conjunto as características morfológicas das folhas e anatômicas da madeira, tanto qualitativas como quantitativas (ver Fig. 7).

Cuidados na identificação para o manejo e perspectivas para o futuro

Os resultados obtidos com o presente trabalho permitiram caracterizar e distinguir cinco espécies de ipês, podendo assim contribuir em estudos de taxonomia e sistemática do gênero *Handroanthus*, bem como do clado *Tabebuia sensu lato*, a exemplo dos trabalhos de Grose & Olmstead (2007), Pace et al. (2015) e Santos (2017).

As duas chaves de identificação também podem ser úteis em atividades de campo que requerem a identificação de espécies de ipês comercializadas na Amazônia, como na fiscalização e monitoramento em toda cadeia de custódia. A correta identificação e, portanto, o conhecimento da composição florística, é necessária para subsidiar o manejo e conservação da flora nativa e evitar a redução populacional de espécies de valor comercial, a exemplo de *Handroanthus serratifolius*, como já citado nos trabalhos de Pinheiro et al. (2021) e Vieira et al. (2021). No entanto, diante da grande similaridade anatômica observada entre as espécies de *Handroanthus*, já destacada anteriormente por Coradin et al. (2010) e Gonçalves et al. (2021), sugere-se uma amostragem maior de madeiras coletadas com *vouchers* que abranjam as outras três espécies que ocorrem no bioma amazônico, para maior precisão na diferenciação e identificação das madeiras de ipês a nível de espécie.

Além disso, sugere-se um maior esforço de coleta entre diferentes localidades do bioma amazônico, visando avaliar se há variação intraespecífica entre as amostras de madeira de diferentes fitofisionomias, ou seja, avaliar o quanto o meio ambiente interfere nas diferenças anatômicas do lenho de indivíduos da mesma espécie. Isto seria importante pois, conforme Alves & Angyalossy-Alfonso (2002), Sonsin et al. (2012) e Costa et al. (2020), características como densidade de vasos e tipos e abundância de parênquima axial podem variar bastante entre indivíduos da mesma espécie, influenciados pelo ambiente em que as plantas se desenvolvem.

A necessidade e importância das coletas e construção de coleções de referência (xilotecas) formadas por espécimes com *vouchers* em herbários já foi destacada por Gasson et al. (2021). No presente trabalho foram utilizadas amostras padronizadas, ou seja, apenas madeiras do cerne do caule principal, coletadas em campo e com *vouchers*, além de madeiras de coleções com identificações confiáveis. Deste modo, considerando que foi possível a diferenciação das cinco espécies de *Handroanthus* pela anatomia da madeira, sugere-se como possíveis continuidades deste trabalho a utilização prática das chaves de identificação para corroborar os resultados obtidos, bem como associar essas informações a outras ferramentas de identificação de madeiras.

5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados observados foi verificado que há diferenças qualitativas e quantitativas entre as madeiras das cinco espécies de *Handroanthus*, que possibilitam a separação das espécies por meio da análise anatômica macroscópica. As principais características diagnósticas foram o parênquima axial e diâmetro de vaso. Além disso, ao se comparar as características da madeira juntamente com a morfologia foliar, foram observadas diferenças que permitem distinguir as duas espécies de ipês mais comercializadas atualmente na Amazônia, *H. impetiginosus* e *H. serratifolius*. Quanto às folhas, as características de margem foliar, tricomas e domácias foram mais significativas para separação das duas espécies.

Por fim, tendo em vista que a identificação correta das espécies madeireiras é primordial para ações de manejo, controle e monitoramento do comércio e exploração florestal, esse trabalho pode auxiliar e embasar outros estudos, ações regulatórias e políticas públicas sobre conservação e gestão florestal.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGILA S, BURNEO A, NARVÁEZ L & PUCHA-COFREP D. 2018. Propiedades físicas y características anatómicas de la madera de tres especies de Guayacán al sur de Ecuador. *Bosques Latitud Cero* 8: 1-15.
- ALBUQUERQUE AR. 2012. Anatomia comparada do lenho e do carvão aplicada na identificação de 75 espécies da floresta Amazônica, no estado do Pará, Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- ALMEIDA M & ALMEIRA CV. 2018. Morfologia da folha de plantas com sementes. Piracicaba: ESALQ/USP, 111p.
- ALVES ES & ANGYALOSSY-ALFONSO V. 2002. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. *IAWA J* 23(4): 391-418.
- AMADO S, FERREIRA INM & FILHO JTC. 2015. Comparação anatômica do lenho de *Handroanthus impetiginosus* e *Handroanthus avellanadae*. *Rev Anhanguera Goiânia* 16: 34-41.
- ANDRADE VHF, MACHADO AS, FILHO AF, BOTOSSO PC, MIRANDA BP & SCHÖNGART J. 2019. Growth models for two commercial tree species in upland forests of the Southern Brazilian Amazon. *Forest Ecol Manag* 438: 215-223.
- BATALHA MA & MANTOVANI W. 1999. Chave de identificação baseada em caracteres vegetativos para as espécies vasculares do Cerrado na ARIE Pé-de-Gigante (Santa Rita do Passa Quatro, SP). *Rev Inst Flor* 11: 137-158.
- BRANDES AFN, NOVELLO BQ, SISTON T, NASCIMENTO LB, TAMAIO N & BARROS CF. 2021. An interactive identification key for Atlantic Forest tree species based on macroscopic wood anatomy. *Rodriguésia* 72: e-02402020.
- BRAZ DM, MOURA MVLP & ROSA MMT. 2004. Chave de identificação para as espécies de dicotiledôneas arbóreas da Reserva Biológica do Tinguá, RJ, com base em caracteres vegetativos. *Acta Bot Bras* 18: 225-240.
- CAMARGOS JAA. 1996. Madeiras comerciais de Mato Grosso: chave de identificação. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 82p.

COPANT. 1974. Comissão Panamericana de Normas Técnica: descrição geral macroscópica e microscópica da madeira. São Paulo, v 30, p 1-19.

CORADIN VTR, CAMARGOS JAA, PASTORE TCM & CHRISTO AG. 2010. Madeiras comerciais do Brasil: chave interativa de identificação baseada em caracteres gerais e macroscópicos. Serviço Florestal Brasileiro, Laboratório de Produtos Florestais, Brasília.

COSTA WS, CUNHA M, RODRIGUES PJFP, IGUATEMY MA, VALLADARES F & BARROS CF. 2020. Intraspecific variation in functional wood anatomy of tropical trees caused by effects of forest edge. *Forest Ecol Manag* 473: 1-13.

DUARTE DV & ROMERO R. 2020. Bignoniaceae na Reserva do Clube Caça e Pesca Itororó, Uberlândia, MG, Brasil. *Hoehnea* 47: e1062019.

ELLIS B, DALY DC & HICKEY LJ. 2009. *Manual of Leaf Architecture*. New York: Cornell University Pres.

ESPÍRITO-SANTO FSE, SIQUEIRA AA & RAPINI A. 2013. Interactive key for identification of species of *Tabebuia* Alliance (Bignoniaceae) in the state of Bahia, Brazil. *Biota Neotrop* 13: 345-349.

FELIX FC, MEDEIROS JAD & PACHECO MV. 2018. Morfologia de sementes e plântulas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos. *Rev Cienc Agrar* 41: 1028-1035.

FLORSHEIM SMB, RIBEIRO AP, LONGUI EL, ANDRADE IM, SONSIN-OLIVEIRA J, CHIMELO JP, SOARES RK, GOUVEIA TC & MARQUES VN. 2020. Identificação macroscópica de madeiras comerciais do estado de São Paulo. São Paulo: Instituto Florestal, 392p.

FRÓES FFPC, GAMA TSS, FEIO AC, DEMARCO D & AGUIAR-DIAS ACA. 2015. Structure and distribution of glandular trichomes in three species of Bignoniaceae. *Acta Amaz* 45: 347-354.

GASSON P, MILLER R, STEKEL DJ, WHINDER F & ZIEMINSKA K. 2010. Wood identification of *Dalbergia nigra* (CITES Appendix I) using quantitative wood anatomy, principal components analysis and naïve Bayes classification. *Ann Bot* 105: 45-56.

GASSON P. 2011. How precise can wood identification be? Wood anatomy's role in support of the legal timber trade, especially CITES. *IAWA J* 32: 137-154.

- GASSON PE, LANCASTER CA, YOUNG R, REDSTONE S, MILES-BUNCH IA, REES G, GUILLERY RP, PARKER-FORNEY M & LEBOW ET. 2021. WorldForestID: Addressing the need for standardized wood reference collections to support authentication analysis technologies; a way forward for checking the origin and identity of traded timber. *Plants People Planet* 3(2): 130-141.
- GENTRY AH. 1992. Bignoniaceae: Part II (Tribe Tecomeae). *Flora Neotropica* 25: 1-370.
- GONÇALVES EG & LORENZI H. 2007. *Morfologia vegetal: organografia e dicionário ilustrado de morfologia das plantas vasculares*. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 416p.
- GONÇALVES TAP, NAVARRO AG, NISGOSKI S & SONSIN-OLIVEIRA J. 2021. The trees of the Water People: archeological waterlogged wood identification and near-infrared analysis in Eastern Amazonia. *Wood Sci. Technol.* 55(4), 991-1011.
- GROSE SO, OLMSTEAD RG. 2007. Taxonomic Revisions in the Polyphyletic Genus *Tabebuia* s. l. (Bignoniaceae). *Syst Bot* 32: 660-670.
- GUERRA A, SANTOS LS, GONÇALVES LG & MEDRI C. 2015. Morfoanatomia de folhas de sol e de sombra de *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae). *Rev Saúde e Biol* 10: 59-71.
- HICKEY LJ. 1973. Classification of the architecture of Dicotyledonous leaves. *Am J Bot* 60:17-33.
- IAWA COMMITTEE. 1989. List of microscopic features for hardwood identification. Wheeler, E.A.; Baas, P., Gasson, P.E. (Eds.). *IAWA Bulletin* 10: 219-332.
- IMAFLOA – Instituição de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola. 2021. A exploração do ipê (*Handroanthus* spp.) em florestas naturais da amazônia brasileira: desafios e oportunidades para a conservação e o manejo responsável. *TimberFlow.org.br*, 04. <https://www.imaflora.org/biblioteca?page=1&pesquisa=timberflow> (acesso 27 set. 2021).
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 2006. *Chave de Identificação de Madeiras Comerciais*. Curso de identificação anatômica de madeiras utilizadas no estado de São Paulo.
- KOCH G, HAAG V, HEINZ I, RICHTER HG & SCHMITT U. 2015. Control of internationally traded timber – The role of macroscopic and microscopic wood identification against illegal logging. *J Forensic Res* 6: 1-4.

LEME CLD. 2016. Wood anatomy of seven species known as “pau-para-tudo” in Brazil. *Cerne* 22: 261-270.

LOHMANN LG. *Handroanthus* in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB114068> (acesso 08 ago 2022)

MAINIERI C & CHIMELO JP. 1989. Fichas de Características das Madeiras Brasileiras. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo.

MARCELO-PEÑA JL, ROIG FA, GOODWIN ZA & TOMAZELLO-FILHO M. 2020. Characterizing growth rings in the trees of Perú: A wood anatomical overview for potential applications in dendroecological-related fields. *Dendrochronologia* 62.

MELO JE & CAMARGOS JAA. 2016. A madeira e seus usos. Brasília: SFB/LPF/MMA, 228p.

NAVES RP, GROGAN V, PRADO PI, VIDAL E & BATISTA JLF. 2020. Tropical forest management altered abundances of individual tree species but not diversity. *Forest Ecol Manag* 475.

NOGUEIRA A, OTTRA JHLE, GUIMARÃES E, MACHADO SR & LOHMANN LG. 2013. Trichome structure and evolution in Neotropical lianas. *Ann Bot* 112: 1331-1350.

NORMAN M & ZUNINO AR. 2022. Demand for luxury decks in Europe and North America is pushing Ipê to the brink of extinction across the Amazon basin & threatening the forest frontier. Forest Policy Trade and Finance Initiative. Report. Forest Trends.

OBERMÜLLER FA, DALY DC, OLIVEIRA EC, SOUSA HFTP, OLIVEIRA HM, SOUZA LS & SILVEIRA M. 2011. Guia ilustrado e manual de arquitetura foliar para espécies madeireiras da Amazônia Ocidental. Rio Branco: G.K. Noronha, 101p.

OLIVEIRA DM. 2020. Descrição anatômica e histoquímica foliar de *Jacaranda* Juss. (Bignoniaceae): uma abordagem comparativa dos tricomas foliares e florais. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista.

PACE MR, LOHMANN LG, OLMSTEAD RG & ANGYALOSSY V. 2015. Wood anatomy of major Bignoniaceae clades. *Plant Syst Evol* 301: 967-995.

PEREIRA PH & MANSANO VF. 2008. Estudos taxonômicos da tribo Tecomeae (Bignoniaceae) no Parque Nacional do Itatiaia, Brasil. *Rodriguésia* 59: 265-289.

- PINHEIRO KAO, RUSCHEL AR, CARNEIRO FS, FRAZÃO AS, SOUZA MFS, D'ARACE LMB & AMORIM MB. 2021. Potencial de espécies comerciais analisado pelo índice de valor de importância em área de exploração de impacto reduzido. *Res Soc Dev* 10(2).
- RIBEIRO JELS, HOPKINS MJG, VICENTINI A, SOTHERS CA, COSTA MAS, BRITO JM, SOUZA MAD, MARTINS LHP, LOHMANN LG, ASSUNÇÃO PACL, PEREIRA EC, SILVA CF, MESQUITA MR & PROCÓPIO LC. 1999. “Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central”. Manaus: INPA, 816p.
- RICHTER HG & DALLWITZ MJ. 2000. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Version: 9th April 2019. <https://www.deltaintkey.com/wood/en/index.htm#H>. (acesso 03 ago. 2022).
- RICHTER HG, GEMBRUCH K & KOCH G. 2014. CITESwoodID: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Version: 20th August 2019. <https://www.deltaintkey.com/citeswood/en/index.htm#H>. (acesso 03 ago. 2022).
- RODRIGUES MC. 2012. Bignoniáceas de dezoito fragmentos florestais remanescentes no noroeste paulista, Brasil. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista.
- RUFFINATTO F, CRIVELLARO A & WIEDENHOEFT AC. 2015. Review of macroscopic features for hardwood and softwood identification and a proposal for a new character list. *IAWA J* 36: 208-241.
- SANTOS LL, SANTOS LL, ALVES ASA, OLIVEIRA LSD & SALES MF. 2013. Bignoniaceae Juss. no Parque Nacional Vale do Catimbau, Pernambuco. *Rodriguésia* 64: 479-494.
- SANTOS SR. 2017. A atual classificação do antigo gênero *Tabebuia* (Bignoniaceae) sob o ponto de vista da anatomia da madeira. *Balduinia* 58: 10-24.
- SCHULZE M, GROGAN J, UHL C, LENTINI M & VIDAL E. 2008. Evaluating ipe (*Tabebuia*, Bignoniaceae) logging in Amazonia: Sustainable management or catalyst for forest degradation? *Biol Conserv* 141: 2071-2085.
- SHIMAMOTO CY, BOTOSSO PC, AMANO E & MARQUES MCM. 2016. Stem growth rhythms in trees of a tropical rainforest in Southern Brazil. *Trees* 30: 99-111.

SILVA AML, COSTA MFB, LEITE VG, REZENDE AA & TEIXEIRA SP. 2009. Anatomia foliar com implicações taxonômicas em espécies de ipês. *Hoehnea* 36: 329-338.

SILVA-JUNIOR MC. 2005. 100 árvores do Cerrado: guia de campo. Ed. Rede de Sementes do Cerrado, Brasília.

SILVA-JUNIOR MC. 2014. Guia do observador de árvores: tronco, copa e folha. Rede de Sementes do Cerrado, Brasília.

SONSIN JO, GASSON PE, BARROS CF, MARCATI CR. 2012. A comparison of the wood anatomy of 11 species from two cerrado habitats (cerrado s.s. and adjacent gallery forest). *Bot J Linn Soc* 170: 257-276.

SOUZA LA & OLIVEIRA JHG. 2004. Morfologia e anatomia das plântulas de *Tabebuia avellanedae* Lor. exGriseb e *T. chrysotricha* (Mart. ex Dc.) Standl. (Bignoniaceae). *Acta Sci Biol Sci* 26(2): 217-226.

TREVIZOR TTT. 2011. Anatomia comparada do lenho de 64 espécies arbóreas de ocorrência natural na floresta tropical Amazônica no estado do Pará. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

URBANETZ C, TAMASHIRO JY & KINOSHITA LS. 2010. Chave de identificação de espécies lenhosas de um trecho de Floresta Ombrófila Densa Atlântica, no Sudeste do Brasil, baseada em caracteres vegetativos. *Biota Neotrop* 10: 349-398.

VIEIRA DS, GOMES KMA, SANTOS LE, OLIVEIRA MLR, GAMA JRV, MENDONÇA ELM, LAFETÁ BO, MOURA CC & FIGUEIREDO AES. 2021. Estrutura diamétrica e especial de espécies madeireiras de importância econômica na Amazônia. *Sci For* 49(129): 1-15.

ANEXO I

Matriz de dados usada para análise de agrupamento, com as características das madeiras de *Handroanthus barbatus* (Hbar), *H. capitatus* (Hcap), *H. impetiginosus* (Himp), *H. incanus* (Hinc) e *H. serratifolius* (Hser), sendo os dados binários 1= presença, 0= ausência.

Caracteres		<i>H. impetiginosus</i>																	
		5337	5338	5339	5340	5349	5351	5352	5353	2018	3122	3124	3125	3210	3242	4177	4178	4179	4621
Anéis de crescimento	Distintos	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Limite dos anéis por zonas fibrosas tangenciais mais escuras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Limites dos anéis por linhas marginais	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
	Textura fina (diâmetro dos vasos <0,1mm)	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Vasos pequenos (0,06 - 0,10mm)	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Densidade de vasos	Pouco numerosos (31 – 65)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Numerosos (66 - 125)	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0
	Muito numerosos (126 - 250)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
	Numerosíssimos (>251)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Agrupamento em grupos radiais longos (5 vasos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Agrupamento em cachos	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Tendência arranjo diagonal	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
	Tendência arranjo radial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Obstrução de vasos	Parcial (menos que 60%)	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0
	Maioria (mais que 60%)	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1
	substância de cor alaranjada	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1
	substância de cor enegrecida	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Parênquima axial	Observado a olho nú	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Contrastado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Escasso	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1
	Aliforme linear de aleta curta	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Aliforme losangular de aleta curta	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1
	Confluente em trechos longos tendendo a formar faixas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	Unilateral	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
	Em linhas marginais	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
	Pouco abundante (5 - 24,99%)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Abundante (25 - 34,99%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Muito abundante (35 - 49,99%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Freq raios	Muito poucos (< 25)	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
	Poucos (26 – 50)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Numerosos (51 - 80)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(continuação): Matriz de dados usada para análise de agrupamento, com as características das madeiras de *Handroanthus barbatus* (Hbar), *H. capitatus* (Hcap), *H. impetiginosus* (Himp), *H. incanus* (Hinc) e *H. serratifolius* (Hser), sendo os dados binários 1= presença, 0= ausência.

Caracteres		<i>H. impetiginosus</i>				<i>H. serratifolius</i>												
		4622	6738	16422	20042	5341	5344	5345	5347	5348	5350	2129	2503	2610	2793	4279	4332	6624
Anéis de crescimento	Distintos	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Limite dos anéis por zonas fibrosas tangenciais mais escuras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Limites dos anéis por linhas marginais	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Textura fina (diâmetro dos vasos <0,1mm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Vasos pequenos (0,06 - 0,10mm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Densidade de vasos	Pouco numerosos (31 – 65)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Numerosos (66 - 125)	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Muito numerosos (126 - 250)	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	Numerosíssimos (>251)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Agrupamento em grupos radiais longos (5 vasos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Agrupamento em cachos	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Tendência arranjo diagonal	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tendência arranjo radial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Obstrução de vasos	Parcial (menos que 60%)	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Maioria (mais que 60%)	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
	substância de cor alaranjada	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	substância de cor enegrecida	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parênquima axial	Observado a olho nú	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Contrastado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
	Escasso	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0
	Aliforme linear de aleta curta	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0
	Aliforme losangular de aleta curta	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
	Confluente em trechos longos tendendo a formar faixas	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Unilateral	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Em linhas marginais	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Pouco abundante (5 - 24,99%)	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
	Abundante (25 - 34,99%)	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Muito abundante (35 - 49,99%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Freq raios	Muito poucos (< 25)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Poucos (26 – 50)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Numerosos (51 - 80)	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0

(continuação): Matriz de dados usada para análise de agrupamento, com as características das madeiras de *Handroanthus barbatus* (Hbar), *H. capitatus* (Hcap), *H. impetiginosus* (Himp), *H. incanus* (Hinc) e *H. serratifolius* (Hser), sendo os dados binários 1= presença, 0= ausência.

Caracteres		<i>H. serratifolius</i>			<i>H. barbatus</i>				<i>H. capitatus</i>					<i>H. incanus</i>				
		6852	16002	16731	970	5432	6842	13778	5329	5330	5332	5335	5336	5254	5257	5333	5343	5346
Anéis de crescimento	Distintos	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
	Limite dos anéis por zonas fibrosas tangenciais mais escuras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Limites dos anéis por linhas marginais	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Textura fina (diâmetro dos vasos <0,1mm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Vasos pequenos (0,06 - 0,10mm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Densidade de vasos	Pouco numerosos (31 – 65)	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Numerosos (66 - 125)	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1
	Muito numerosos (126 - 250)	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Numerosíssimos (>251)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Agrupamento em grupos radiais longos (5 vasos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Agrupamento em cachos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tendência arranjo diagonal	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Tendência arranjo radial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Obstrução de vasos	Parcial (menos que 60%)	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1
	Maioria (mais que 60%)	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0
	substância de cor alaranjada	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	substância de cor enegrecida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
Parênquima axial	Observado a olho nú	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1
	Contrastado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Escasso	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
	Aliforme linear de aleta curta	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Aliforme losangular de aleta curta	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
	Confluente em trechos longos tendendo a formar faixas	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Unilateral	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
	Em linhas marginais	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Pouco abundante (5 - 24,99%)	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
	Abundante (25 - 34,99%)	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
	Muito abundante (35 - 49,99%)	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Freq raios	Muito poucos (< 25)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Poucos (26 – 50)	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
	Numerosos (51 - 80)	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1

ANEXO II

Matriz de dados usada para a análise de agrupamento, com as características morfológicas das folhas de *Handroanthus impetiginosus* (Himp) e *Handroanthus serratifolius* (Hser), sendo os dados binários 1= presença, 0= ausência.

Espécies	<i>H. impetiginosus</i>												<i>H. serratifolius</i>				
Caracteres	665	667	669	670	1212	1222	1661	1662	1663	1664	1666	1673	1675	1669	1672	110705	136313
Margem dos folíolos serreada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Domáceas tipo cripta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Domáceas tipo "tufos de pelos"	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
Lepidotos na face adaxial	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0
Lepidotos na face abaxial	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Glândulas esparsas na face adaxial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
Glândulas esparsas na face abaxial	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0

ANEXO III

Matriz de dados usada para a análise de agrupamento, com as características anatômicas da madeira e morfológicas das folhas de *Handroanthus impetiginosus* (Himp) e *Handroanthus serratifolius* (Hser), sendo os dados binários 1= presença, 0= ausência.

		<i>H. impetiginosus</i>												<i>H. ser</i>	
		665	667	669	670	1212	1222	1661	1662	1663	1664	1673	1675	1669	1672
		3122	3125	3124	3210	4179	4178	5337	5338	5339	5340	5349	5351	5345	5348
Folhas	Registro exsicata														
	Registro xiloteca														
		Margem dos folíolos serreada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
		Domáceas tipo cripta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
		Domáceas tipo tufos de pelos	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0
		Lepidotos na face adaxial	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
		Lepidotos na face abaxial	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Glândulas esparsas face adaxial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	Glândulas esparsas face abaxial	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
Anéis de crescimento	Distintos	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1
	Limites dos anéis zonas fibrosas tangenciais mais escuras	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
	Limites dos anéis linhas marginais	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Vasos numerosos (66 - 125)	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	Vasos muito numerosos (126 - 250)	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Agrupamento em cachos	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
	Tendência arranjo diagonal	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
Obstrução de vasos	Parcial (menos q 60%)	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	Majoria (mais que 60%)	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1
	substância de cor alaranjada	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	substância de cor enegrecida	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Não obstruídos por tilos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	Parcialmente obstruídos por tilos (< 60%)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Parênquima axial	Escasso	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
	Aliforme losangular de aleta curta	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
	Confluente em trechos longos tendendo a formar faixas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

	Unilateral	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
	Em linhas marginais	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Freq. raios	Muito poucos (< 25)	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Numerosos (51 - 80)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

CAPÍTULO 2

**O uso de NIRS como uma ferramenta em potencial para
identificação de ipês: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.)
Mattos, *Handroanthus incanus* (A.H.Gentry) S.Grose e
Handroanthus serratifolius (Vahl) S. Grose.**

Elisa P. Souza^{1,2}, Tereza C.M. Pastore², Hugo S. Rocha³, Daniele C.G.C. Kunze³,
Jez W.B. Braga³, Júlia Sonsin-Oliveira¹

¹ Departamento de Botânica, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, 70919-970 Brasília - DF, Brasil

² Laboratório de Produtos Florestais, Serviço Florestal Brasileiro, 70818-900 Brasília - DF, Brasil

³ Instituto de Química, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília - DF, Brasil

Texto formatado de acordo com as normas da revista *Internacional Forest Science*.

Resumo

A aplicação da espectroscopia do infravermelho próximo (NIRS) para avaliação de madeiras possibilita uma análise rápida, não destrutiva, em material sólido e não gera resíduos químicos. A identificação de madeira pelo NIRS ocorre por medidas de reflectância da luz irradiada sobre o material, entretanto, as informações geradas são complexas, sendo necessária a associação da técnica à aplicação de métodos quimiométricos. Os ipês (*Handroanthus*) estão entre as madeiras mais exploradas atualmente na Amazônia, porém a semelhança entre elas dificulta a identificação precisa das espécies. O objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade de identificação de três espécies de ipês: *Handroanthus impetiginosus*, *H. incanus* e *H. serratifolius* utilizando a metodologia NIRS. Além dessas, foram utilizadas as espécies *H. barbatus* e *H. capitatus* para comparação. As amostras de madeira foram preparadas e os espectros obtidos por meio de equipamento portátil. Para esses dados, foram utilizados os pré-tratamentos de escala automática, padronização normal de sinal e primeira derivada, e aplicada a PCA. Depois de realizados os pré-tratamentos, foi observado na PCA que não foi possível uma nítida separação entre as três espécies, entretanto, *H. barbatus* se mostrou quimicamente diferente das demais espécies. Para os modelos quimiométricos, os melhores resultados foram obtidos com o método PLS2-DA, bem como com os espectros da face longitudinal da madeira, sendo possível separar a espécie *H. serratifolius* das outras. Assim, foi verificado que existe potencialidade da metodologia NIRS para discriminação de espécies de *Handroanthus*, porém há necessidade da criação de um banco de dados mais robusto para o desenvolvimento de um modelo mais representativo.

Palavras-chave: *Handroanthus*, madeira, identificação, NIRS, PLS-DA.

1. Introdução

A técnica da espectroscopia do infravermelho próximo (do inglês *Near Infrared Spectroscopy* - NIRS) começou a ser utilizada na década de 1960, em trabalhos relacionados à agricultura, incluído lavoura, floresta e solo, atualmente é aplicada também na indústria farmacêutica, alimentícia, na biomedicina e biotecnologia (Brown 2015) e realiza medições em diversos materiais orgânicos como polímeros, têxteis, farmacêuticos e petroquímicos (Tsuchikawa & Kobori 2015).

As vantagens relacionadas à técnica NIRS incluem a necessidade de pouca ou nenhuma preparação das amostras, metodologia não destrutiva e rápida obtenção espectral. Entretanto, por ser um método sensível, é afetado por tamanho das partículas, densidade, umidade e temperatura das amostras analisadas (Brown 2015). A madeira é um material higroscópico e bastante heterogêneo, fator este que causa grande variação espectral, interferindo nos modelos de discriminação das diferentes espécies e restringindo a aplicabilidade do método apenas para amostras que estejam nas mesmas condições de umidade (Kunze et al. 2021).

Como ressaltado por Novaes (2021), a interação da radiação no infravermelho próximo com os materiais não resulta na simples identidade fisionômica do objeto, mas expressa o tipo, a proporção, a forma, a movimentação e o comportamento das moléculas que o compõe, tornando o resultado do processamento dessa interação mais complexo e rico em detalhes, permitindo que diferenças não visíveis em objetos de aparência semelhante sejam reveladas. Devido à esta complexidade, e imensa diversidade na composição dos materiais, há necessidade de um modelo robusto, com a obtenção de muitas amostras.

A aplicação desta tecnologia para avaliação de madeira tem sido utilizada, pois possibilita uma análise rápida, não destrutiva, em material sólido, não gera resíduos químicos e existem equipamentos portáteis disponíveis comercialmente (Bergo et al. 2016). Diversas pesquisas têm sido realizadas sobre aplicação do NIRS na área de ciência e tecnologia da madeira. Como exemplo, o NIRS pode ser aplicado para determinação de componentes químicos da madeira, como lignina e extrativos (Silva et al. 2013, Diniz et al. 2019), de outras propriedades físicas como a densidade (Pigozzo 2011, Ayanleye & Avramidis 2020), além da discriminação de espécies produtoras de madeira. Dessa forma se mostrando útil para determinação de aspectos relacionados às propriedades químicas, físicas, mecânicas e anatômicas da madeira (Tsuchikawa & Kobori 2015).

O método de identificação de madeira pela espectroscopia do infravermelho próximo ocorre por meio da aquisição direta de medidas de reflectância da luz irradiada sobre o material, que variam de acordo com os componentes químicos presentes na madeira (celulose, hemicelulose, lignina e extrativos), com a distribuição destes compostos e com as propriedades físicas da madeira (Soares

et al. 2017, Snel et al. 2018). Além da identificação e da separação das madeiras, esta tecnologia permite a identificação da origem da madeira, conforme já demonstrado por Bergo et al. (2016) e Silva et al. (2018), podendo contribuir para controle do mercado madeireiro e conservação das espécies.

Com relação à identificação das madeiras, a técnica NIRS é uma ferramenta promissora, pois a partir da elaboração de um banco de dados de espectros das amostras de interesse e definição de um modelo, é possível identificar as espécies de uma maneira rápida, sem muitos anos de treinamento dos usuários e sem a necessidade de um anatomista de madeira em campo. A seleção do número de amostras e espécimes é importante e necessária para abranger a variação intraespecífica que pode ocorrer entre as madeiras, decorrente de diversos fatores ambientais e genéticos.

Os dados obtidos nas amostras são constituídos de um conjunto de bandas formadas pela sobreposição de transições vibracionais e requer o estabelecimento de um modelo matemático para relacionar os espectros com as propriedades de interesse (Soares et al. 2017). Assim, para viabilizar a identificação de madeiras pela tecnologia NIRS é necessário que esta seja associada à análise multivariada desses dados (espectros) e aplicação de métodos quimiométricos.

Devido à sua eficiência, portabilidade e também com potencial para servir como ferramenta para rastreamento de madeira, o NIRS foi incluído como um dos métodos científicos para identificação taxonômica e determinação da origem da madeira, junto com outras técnicas de análise como espectroscopia de massa, isótopos estáveis e genética, no Guia da Global Timber Tracking Network (GTTN) para os diferentes métodos de rastreamento de madeira (Schmitz et al. 2020) e no Guia de Melhores Práticas para Identificação Forense de Madeiras da United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC) (2016). Estas diferentes técnicas são vistas como parte de um sistema global ou complementares para apoiar o manejo sustentável da floresta, extração legal de madeiras e combate à exploração ilegal (Yin et al. 2020).

Diversos trabalhos têm sido realizados nos últimos anos para estudo dessa metodologia visando a identificação de madeiras brasileiras. Foi possível por exemplo a identificação e separação de espécies semelhantes ao mogno: *Swietenia macrophylla* (Braga et al. 2011, Bergo et al. 2016, Soares et al. 2017) e a *Dalbergia* sp. (Pigozzo 2011, Snel et al. 2018), ambas ameaçadas de extinção e com restrição de comércio internacional, regulamentado pela Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies Silvestres Ameaçadas de Extinção (CITES).

A diferenciação de madeira e carvão com uso da tecnologia NIRS também foi comprovada para seis espécies da Caatinga (Nisgoski et al. 2018) e cinco espécies conhecidas como Angelim (Muñiz et al. 2016). Em um estudo utilizando NIRS juntamente com o MIRS (espectroscopia do

infravermelho médio) foi possível discriminar carvão procedente de madeira nativa de ipê (*Handroanthus serratifolius*) e carvão de eucalipto plantado (Davrieux et al. 2010).

Como qualquer técnica analítica, a interpretação teórica e compreensão dos dados coletados são necessárias para dar suporte e validar os métodos (Pasquini 2018). Isso ocorre com a metodologia NIRS pois as informações contidas nos espectros são muito complexas, correlacionadas e normalmente não estão disponíveis para os propósitos analíticos (Pasquini 2018).

Existem diversas técnicas para análise dos dados obtidos com espectros NIR e posterior desenvolvimento de modelos matemáticos para aplicação prática dessa metodologia. Como análise exploratória e não supervisionada, utiliza-se com frequência a análise de componentes principais (PCA, do inglês *Principal Components Analysis*), que para a espectroscopia NIR tem o objetivo de reduzir as variáveis do espectro (comprimentos de onda) a combinações lineares (componentes) não correlacionadas, que expressam a maior parte da variabilidade dos dados (Pigozzo 2011), preservando o máximo de informações.

Para construção dos modelos matemáticos visando a discriminação de madeiras, uma das técnicas usuais é a modelagem independente por analogia de classe (SIMCA, do inglês *Soft independent modeling of class analogy*), que foi utilizada por exemplo para identificação de diferentes espécies do gênero *Dalbergia* (Pigozzo 2011, Snel et al 2018). Além dessa, é frequente a utilização da análise discriminante pelos mínimos quadrados parciais (PLS-DA, do inglês *Partial Least Squares for Discriminant Analysis*), que se mostrou adequada em diversos trabalhos para diferenciação de espécies comerciais brasileiras (Bergo et al. 2016, Soares et al. 2017, Novaes 2021, Rocha et al. 2021, Lima et al. 2022). A análise discriminante linear (LDA, do inglês *Linear Discriminant Analysis*) também foi utilizada para identificação de espécies brasileiras por meio de folhas (Mendes 2014) e de madeira e carvão (Muñiz et al. 2016, Nisgoski et al. 2018).

Considerando que uma das maiores dificuldades em manipular os dados espectrométricos é abstrair informações a partir de um grande conjunto de dados, uma alternativa viável é a utilização de sistemas embasados em Rede Neural Artificial para acelerar o processo de identificação mediante análise dos espectros NIR, aplicando análise multivariada em conjunto com filtros estatísticos (Oliveira et al. 2015).

Para procedimentos qualitativos como a identificação de madeiras é necessária a construção de um banco de dados de espectros para o desenvolvimento dos modelos, sendo esta etapa dependente da análise dos elementos anatômicos da madeira para identificação das espécies que serão estudadas (Soares et al. 2017).

Os ipês estão entre as madeiras mais exploradas atualmente na Amazônia devido às suas propriedades tecnológicas e estão ameaçadas pelo mercado madeireiro (Schulze et al. 2008, Naves

et al. 2020, Imaflora 2021, Norman & Zunino 2022). Essas madeiras pertencem a espécies do gênero *Handroanthus* e devido à semelhança entre elas, muitas vezes a identificação ocorre de maneira incorreta, prejudicando a manutenção dos sistemas de manejo e os mecanismos de controle e monitoramento da exploração e comércio das madeiras.

Considerando a semelhança que ocorre entre as espécies de *Handroanthus* (Gonçalves et al. 2021), e portanto, a dificuldade na identificação e separação dessas madeiras, buscou-se com o presente trabalho a realização de um projeto piloto para utilização da metodologia NIRS para verificar a viabilidade de identificação de três espécies de ipês: *Handroanthus impetiginosus*, *H. incanus* e *H. serratifolius*.

2. Materiais e métodos

Obtenção de amostras de madeira

No período de 28/07 a 04/08/2020 foi realizada coleta de madeira e ramos com folhas e flores de 17 árvores de ipês (*Handroanthus* spp.) no município de Itapuã do Oeste, em área de concessão da Floresta Nacional de Jamari, Rondônia. Para extração da amostra foi utilizado o trado motorizado (Bt45, ®Sthil), posteriormente houve aplicação de calda bordalesa para impedir ataques de microrganismos e fechamento do orifício com galho de diâmetro semelhante.

Além dessas amostras, seguindo o mesmo método foram coletadas madeiras e exsiccatas de oito árvores de ipês em agosto de 2019, no município de Itaituba, na Floresta Nacional de Altamira, Pará. Todas as 25 amostras de madeira foram coletadas no diâmetro a altura do peito (DAP), que variou de 26 a 110 cm. A broca utilizada permitiu a retirada de amostras em forma de baguetas com diâmetro aproximado de três centímetros.

As exsiccatas coletadas foram herborizadas, identificadas por especialista na família Bignoniaceae, e tombadas no herbário da Universidade de Brasília (UB). As amostras de madeira foram registradas na xiloteca do Laboratório de Produtos Florestais, do Serviço Florestal Brasileiro (FPBw).

Além das madeiras coletadas, foram utilizadas 40 amostras provenientes de xilotecas de quatro instituições de pesquisa: Laboratório de Produtos Florestais (FPBw), Museu Paraense Emílio Goeldi (MGw), Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (RBw) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (BCTw).

A seleção do material das xilotecas considerou amostras retiradas do cerne do caule principal, procedentes da Amazônia e identificadas até o nível de espécie. Foram utilizadas nesse trabalho as espécies: *Handroanthus impetiginosus*, *H. incanus* e *H. serratifolius*, e também as espécies *H. barbatus* e *H. capitatus* para comparação na análise de PCA e na fase de validação dos modelos matemáticos. Todas as amostras de madeira tiveram a identificação confirmada tanto por anatomista de madeira quanto por especialista em herbário, por meio da avaliação dos *vouchers*.

Espectroscopia do infravermelho próximo

Para o uso da tecnologia NIRS, inicialmente as madeiras foram orientadas e lixadas com auxílio da lixadeira de bancada Skil 3375 ou com lixadeira elétrica orbital Makita, ambas com lixa de gramatura 80. Este procedimento é necessário para aumentar a superfície de contato da madeira, evitar a formação de brilho (reflectância especular), manter a uniformidade e remover a camada externa oxidada (Soares et al. 2017).

A preparação das amostras coletadas ocorreu após o mínimo de seis meses de secagem ao natural. As madeiras que estavam armazenadas em xilotecas foram preparadas e os espectros coletados nas próprias instituições de pesquisa acima citadas.

Os espectros foram obtidos com auxílio do espectrômetro portátil microPHAZIR™ RX Analyzer, com faixa espectral de 1595–2396nm e resolução de 8nm, utilizando parâmetros de tempo de integração de 2.000µs e 100 varreduras.

Foram medidos três pontos distintos aleatórios nas superfícies transversal e longitudinal tangencial do cerne de cada amostra de madeira, que possuíam área mínima de 11mm de diâmetro. Para as análises quimiométricas, não foram feitas as médias das medições em triplicata, visando obter melhor representatividade das amostras e manter a heterogeneidade química natural da madeira (Rocha et al. 2021).

Pré-processamento e análises multivariadas

Para seleção dos tratamentos mais adequados para o conjunto de dados foi utilizado o programa Method Generator, do equipamento MicroPhazir™ RX Analyzer (ThermoFisher Scientific™). Foram avaliados os seguintes pré-processamentos: centragem dos dados na média (*meancenter*), escala automática (*autoscale*), Padronização Normal de Sinal (SNV, do inglês *Standard Normal Variate*) e primeira e segunda derivada pelo algoritmo Savitzky-Golay.

Esta etapa de tratamento dos espectros NIR é necessária para reduzir fatores que influenciam na interpretação dos espectros tais como: efeitos de espalhamento dependentes de comprimento de onda, heterogeneidade dos tecidos, tamanho das partículas e rugosidade da superfície da amostra, efeitos ambientais e ruídos do equipamento (Pigozzo 2011, Diniz et al. 2019).

Foi realizada a análise de componentes principais (PCA, *Principal Component Analysis*), para verificar a formação e separação de grupos correspondentes às espécies de *Handroanthus*. Para as demais análises multivariadas e construção dos modelos de discriminação, os espectros das amostras foram divididos em dois conjuntos, sendo dois terços para calibração ou treinamento e um terço para validação.

Como métodos de análise multivariada supervisionados, foram avaliados os seguintes procedimentos: análise discriminante pelos mínimos quadrados parciais (*Partial Least Squares for Discriminant Analysis*), nas variações PLS1-DA e PLS2-DA, e modelagem independente por analogia de classe (DD-SIMCA, do inglês *Data Driven - Soft independent modeling of class analogy*). As análises foram realizadas com o auxílio dos programas MATLAB R2017a com pacote PLS_Toolbox 8.7 e Method Generator (Thermo MicroPhazir Admin versão 4.3.0).

Os métodos quimiométricos foram aplicados separadamente para os dados obtidos nas superfícies transversal e tangencial da madeira. Além disso, os procedimentos foram testados com e sem a exclusão das amostras de madeira com período de secagem de até seis meses após a coleta em campo.

A validação cruzada garante que o modelo seja desenvolvido levando em consideração toda a variabilidade de amostras (Mancini & Rinnan 2021). Na fase de treinamento ou calibração, o valor da raiz quadrada do erro médio quadrático de validação cruzada (RMSECV) foi utilizado para seleção do número de variáveis latentes. Embora esse parâmetro não meça diretamente os erros de discriminação, ele permite um melhor ajuste do modelo para estimativas mais estáveis e detecção de espectros *outliers* (Soares et al. 2017, Rocha et al. 2021).

Assim, outro aspecto relevante para otimização dos modelos PLS-DA é a identificação e exclusão das amostras anômalas (*outliers*). Para isso, os parâmetros estatísticos utilizados em ambos os conjuntos, de calibração e validação, foram T^2 de Hotelling e resíduo espectral Q, com limite de 95% de confiança. Portanto amostras com valores acima desse limite foram removidas dos conjuntos para o desenvolvimento dos modelos.

3. Resultados e discussão

Ao todo foram obtidos 381 espectros da região de cerne da madeira de cinco espécies de *Handroanthus*, nas superfícies transversal e longitudinal tangencial (Tabela 1).

Tabela 1. Quantidade de espectros coletados nas amostras de madeira de cinco espécies de *Handroanthus* nas superfícies transversal e longitudinal tangencial.

Espécie	Amostras	Espectros da face tangencial	Espectros da face transversal	Total de espectros
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	22	66	63	129
<i>Handroanthus serratifolius</i>	20	60	54	114
<i>Handroanthus incanus</i>	13	39	39	78
<i>Handroanthus capitatus</i>	6	18	18	36
<i>Handroanthus barbatus</i>	4	12	12	24
Total	65	195	186	381

Foi observado neste trabalho que o padrão dos espectros obtidos na superfície longitudinal tangencial da madeira das cinco espécies de *Handroanthus* não se diferenciaram, havendo apenas variação de intensidade de sinal (Fig. 1), sendo necessário portanto a análise dos dados por modelos quimiométricos. Os resultados obtidos com a superfície transversal da madeira não se mostraram tão bons quanto os da face tangencial para as análises de quimiometria, provavelmente porque a disposição das estruturas no sentido axial, principalmente dos elementos de vaso, favorece a absorção da radiação NIR, diminuindo a intensidade da luz refletida, influenciando assim nos espectros (Pigozzo 2011). Entretanto, ao analisar diferentes espécies foi observado que a superfície transversal também pode apresentar melhores resultados em carvão (Nisgoski et al. 2021), ou pode não haver diferença entre os espectros de ambas as faces da madeira ou carvão, quanto à qualidade dos dados gerados para os métodos quimiométricos (Nisgoski et al. 2018; Vieira et al. 2019).

Além disso, na superfície longitudinal, tanto a área de parede celular quanto o conteúdo das células (como os extrativos) ficam mais expostos. Portanto, nessa face existem características da madeira que influenciam os espectros NIR, pois estes refletem não só a quantidade de componentes químicos do material, mas também como estão distribuídos e organizados na madeira (Pigozzo 2011, Soares et al. 2017, Nisgoski et al. 2021).

As espécies estudadas no presente trabalho, apesar de terem diâmetros de vasos médios (0,11-0,20mm), em sua maioria, esses eram numerosos a muito numerosos (66-250 vasos/mm²) (Souza *in prep.*). Assim, é provável que esta característica dos vasos, somada a grande quantidade e variedade

de extrativos observada da madeira de ipê, possibilite que as informações químicas estejam mais evidentes na face longitudinal da madeira, apresentando melhores resultados na espectroscopia do infravermelho próximo.

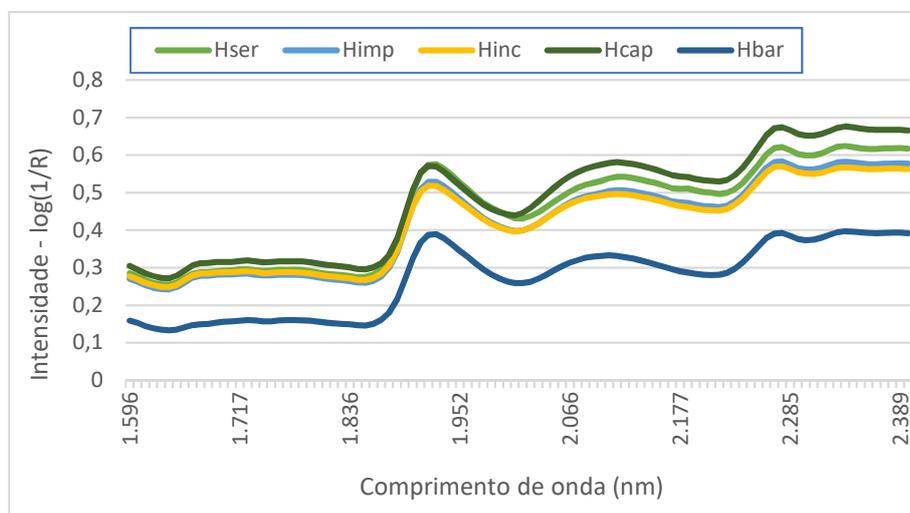


Figura 1. Espectros médios obtidos da face tangencial da madeira das espécies: *Handroanthus barbatus* (Hbar), *H. capitatus* (Hcap), *H. impetiginosus* (Himp), *H. incanus* (Hinc) e *H. serratifolius* (Hser).

Os pré-processamentos que foram mais eficientes para corrigir ou diminuir as falhas e efeitos de espalhamento dos espectros e, portanto, utilizados para tratamento dos dados foram: escala automática (*autoscale*), padronização normal de sinal (SNV, *Standard Normal Variate*) e primeira derivada pelo algoritmo Savitzky-Golay. Estes procedimentos foram realizados anteriormente à análise de componentes principais (PCA).

Na PCA com os espectros das cinco espécies de *Handroanthus* (Fig. 2) a variância descrita pelos dois primeiros componentes principais foi equivalente a 68,63%. Como resultado desta análise, com a utilização de três PCs, foi possível observar a separação apenas da classe correspondente à espécie *H. barbatus*, com quatro amostras analisadas, e uma leve tendência ao agrupamento de amostras da espécie *H. serratifolius*.

Este resultado sugere que a espécie *H. barbatus* é quimicamente diferente das demais. Isto pode ser explicado possivelmente pela quantidade e tamanho significativamente maiores das células de parênquima axial dessa espécie (Souza *in prep.*), que são estruturas de armazenamento de substâncias, refletindo na composição química provavelmente diferenciada dessa madeira. Além disso, em *H. barbatus* não foram observados depósitos de coloração alaranjada ou enegrecida nos vasos, diferente das outras quatro espécies de *Handroanthus* (Souza *in prep.*).

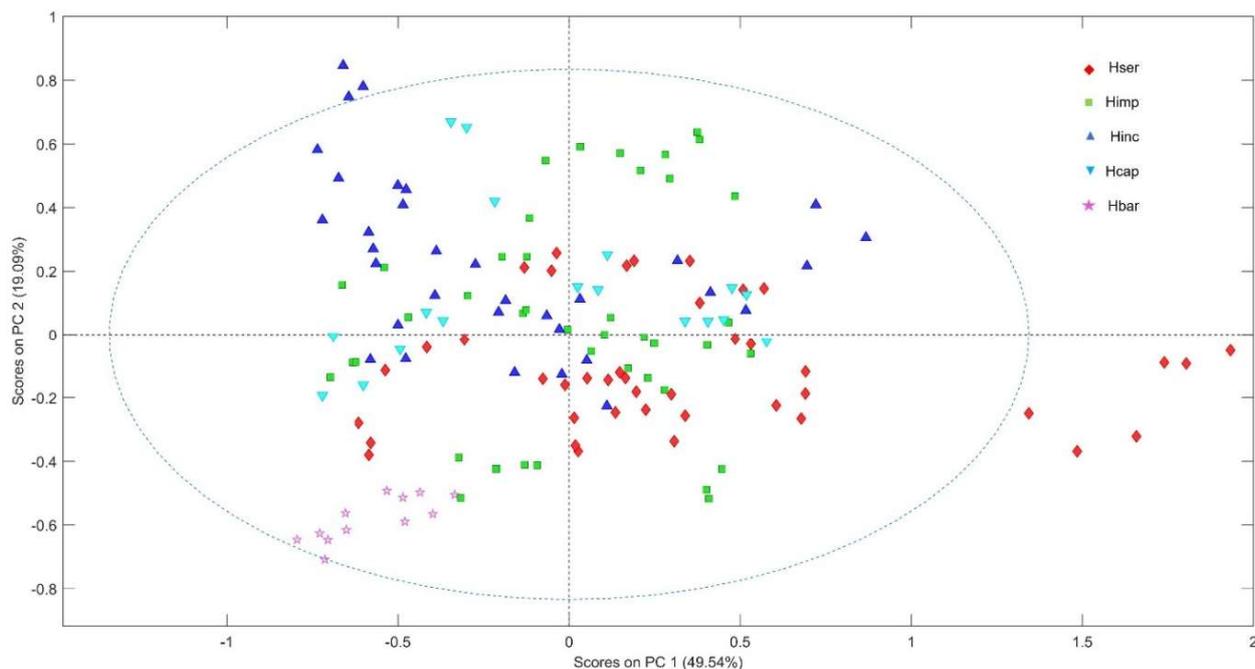


Figura 2. Análise de Componentes Principais (PCA) dos espectros obtidos na face tangencial das espécies *Handroanthus barbatus* (Hbar), *H. capitatus* (Hcap), *H. impetiginosus* (Himp), *H. incanus* (Hinc) e *H. serratifolius* (Hser).

Para construção dos modelos matemáticos, foram utilizados os espectros das espécies *Handroanthus serratifolius*, *H. impetiginosus* e *H. incanus*, pois foram as classes com maior número de amostras. Entre os métodos testados, a análise discriminante pelos mínimos quadrados parciais (PLS2-DA) apresentou os melhores resultados, bem como a seleção dos espectros obtidos da face tangencial das madeiras e com período de secagem ao natural superior a 15 meses.

A madeira recém coletada apresenta um alto teor de umidade, que diminui espontaneamente até um ponto de equilíbrio com a umidade do ambiente, variando de acordo com as características da espécie como a densidade, a orientação do corte, dimensão da amostra e condições ambientais (Martins 1988, Susin 2018). No caso da madeira de ipê (*Handroanthus* sp.), a umidade de equilíbrio foi de 10,4% em um estudo realizado na região amazônica (Evangelista & Costa 2017). Entretanto, o tempo necessário para atingir essa estabilização do teor de umidade depende das condições do ambiente, principalmente temperatura e umidade relativa do ar, devendo ser estimado mediante o controle dessas condições no processo de secagem (Miranda et al. 2015).

No presente trabalho, a exclusão das amostras com período de secagem de seis meses influenciou nos resultados, demonstrando que o teor de umidade ainda divergia das demais amostras que estavam depositadas em xilotecas e que esta característica da madeira interferiu nos espectros do infravermelho próximo. Essa variação nas assinaturas espectrais de acordo com a umidade, além

do efeito do teor de lignina e extrativos, foi constatada também por Tsuchikawa et al. (2003) para discriminação de diferentes espécies de madeira pela tecnologia NIRS. Assim, é importante o controle de umidade das amostras pois, como já destacado por Kunze et al. (2021) os modelos quimiométricos desenvolvidos com madeiras sob condições controladas de umidade e temperatura apresentam melhores resultados.

Para otimização dos modelos também foi testada a seleção das variáveis pelo algoritmo de PLS por intervalos (iPLS, *Interval PLS*). Além disso, foi testada a remoção da extremidade inicial do intervalo de comprimentos de onda dos espectros para minimizar ruídos e variações não relacionadas à composição química entre as espécies (Soares et al. 2017). No entanto, como ambos os métodos não apresentaram melhoras nos resultados, foi utilizada toda a região espectral, ou seja, os 100 comprimentos de onda.

No conjunto de calibração, após a validação cruzada o erro médio de classificação estabilizou com sete variáveis latentes, que foram, portanto, utilizadas para modelagem das três classes. Quanto à identificação e exclusão das amostras com maior probabilidade de serem anômalas (*outliers*), segue na Figura 3 os gráficos para o conjunto de treinamento (A) e de validação (B) dos valores T^2 de Hotelling e resíduos Q para as espécies de *Handroanthus*. Foram consideradas *outliers* e, portanto, excluídas aquelas amostras fora dos limites com 95% de confiança.

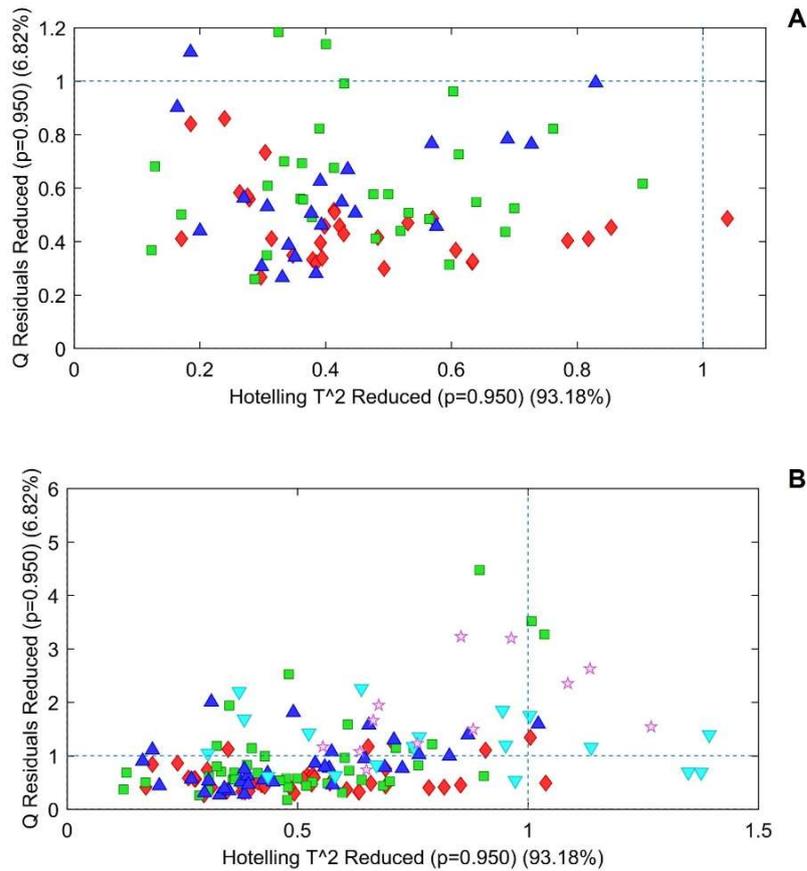


Figura 3. Gráficos dos valores de T^2 Hotelling e resíduos Q obtidos para o modelo PLS-DA para a discriminação das espécies *Handroanthus serratifolius* (♦), *H. impetiginosus* (■), *H. incanus* (▲), para o conjunto de calibração (A) e de validação (B). As espécies *H. capitatus* (▼) e *H. barbatus* (*) foram utilizadas para comparação na fase de validação do modelo.

Conforme observado no gráfico de detecção de *outliers* da etapa de calibração (Fig. 3-A), praticamente todas as amostras tiveram baixos valores de resíduo espectral e valor Hotelling e nenhuma foi localizada no quadrante superior direito, ou seja, não houve amostras excluídas. Por outro lado, no conjunto de validação (Fig. 3-B) foram consideradas *outliers* e excluídas uma amostra de *H. barbatus* e uma de *H. capitatus*, porém nenhuma amostra das espécies alvo. Isto mostra que as classes foram bem modeladas pelo método PLS.

A Figura 4 representa a distribuição dos espectros para cada espécie nos três modelos de discriminação, tanto para o conjunto de calibração quanto de validação.

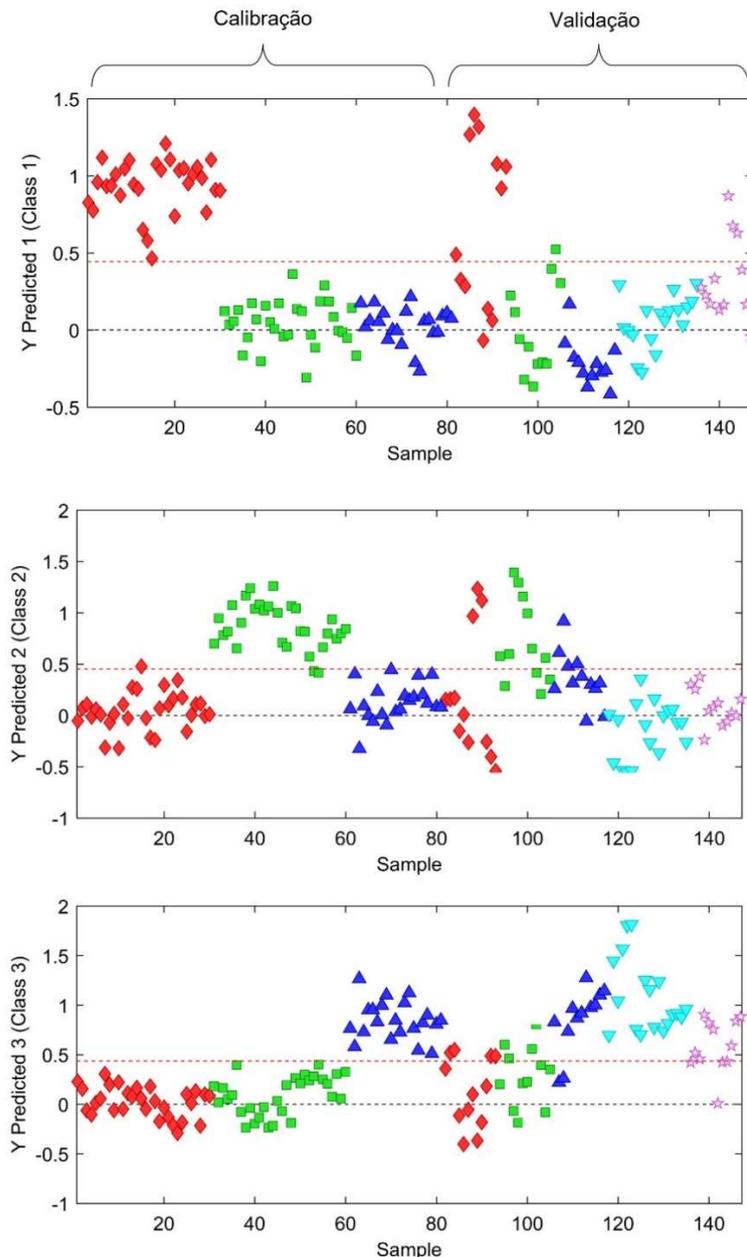


Figura 4. Distribuição dos valores estimados do conjunto de calibração e validação para as espécies *Handroanthus serratifolius* (♦), classe 1, *H. impetiginosus* (■), classe 2, e *H. incanus* (▲), classe 3. As espécies *H. capitatus* (▼) e *H. barbatus* (*) foram utilizadas para comparação na fase de validação do modelo.

A partir dos modelos PLS2-DA obtidos, foi possível visualizar que todas as espécies apresentaram bons resultados nas análises com o conjunto de calibração, enquanto na etapa de validação a espécie *H. serratifolius* apresentou resultados um pouco melhores que as demais espécies. Para cada classe predita, os valores abaixo do limite de discriminação (y próximo a 0,5) são considerados falsos negativos e para as demais classes, os valores acima do limite são falsos positivos. Segue a tabela com as taxas de verdadeiros e falsos negativos e positivos, para cada uma das três espécies nas fases de calibração e validação do modelo (Tabela 2).

Para o conjunto de calibração dos três modelos (Fig. 4), observa-se que praticamente todas as amostras foram pontos verdadeiros positivos e verdadeiros negativos. Com relação à etapa de validação, no modelo para a espécie *H. serratifolius* (Fig. 4 - classe 1) houve mais da metade das amostras verdadeiro positivo e apenas uma amostra de *H. barbatus* como falso positivo. Para a espécie predita *H. impetiginosus* (Fig. 4 – classe 2), houve mais da metade de verdadeiros positivos e duas outras classes com falsos positivos. Por fim, no modelo para a espécie *H. incanus* (Fig. 4 – classe 3) apesar de ter tido a maior proporção de verdadeiros positivos, houve muitos falsos positivos entre as amostras de *H. capitatus* e *H. barbatus*.

Tabela 2. Resultado das análises do conjunto de calibração e validação nos modelos PLS-DA das espécies *Handroanthus serratifolius*, *Handroanthus impetiginosus* e *Handroanthus incanus*. FP (Falso Positivo), FN (Falso Negativo), VP (Verdadeiro Positivo), VN (Verdadeiro Negativo), TFP (Taxa de Falso Positivo), TFN (Taxa de Falso Negativo).

	<i>H. serratifolius</i>	<i>H. impetiginosus</i>	<i>H. incanus</i>
Calibração			
Num. espectros	30	30	21
TVP	0,9	0,97	0,95
TFP	0,0	0,08	0,02
TVN	1,0	0,92	0,98
TFN	0,1	0,03	0,05
Validação			
Num. espectros	12	12	12
TVP	0,83	0,5	0,92
TFP	0,0	0,12	0,25
TVN	1,0	0,88	0,75
TFN	0,17	0,5	0,08

Por meio da análise PLS-DA foram obtidos bons resultados para modelagem das espécies *Handroanthus serratifolius*, *H. incanus* e *Handroanthus impetiginosus*, o que indica uma potencialidade para discriminação das espécies por meio da metodologia NIRS. No entanto, na etapa de validação, quando analisadas mais espécies em conjunto, os resultados não se mostram muito satisfatórios, o que reflete a análise de componentes principais (PCA), na qual não houve um nítido agrupamento das classes com o uso dos espectros NIR.

Apesar da semelhança entre as espécies de *Handroanthus*, foi possível diferenciá-las pela anatomia da madeira, o que sugere maior influência das estruturas anatômicas do que da composição química para a separação das madeiras desse gênero.

Neste trabalho foram utilizadas amostras coletadas em formato de baguetas pequenas (3 cm de diâmetro), bem como amostras de xilotecas. A metodologia de coleta com o uso do trado motorizado aquece a madeira a altas temperaturas o que pode ter causado alterações químicas e

influenciado nos espectros. Portanto, uma hipótese é que a mistura de amostras de diferentes formatos e umidades pode ter interferido nos resultados obtidos.

Assim como para a discriminação de madeiras pela anatomia, o uso da técnica NIRS também requer um banco de dados robusto, com muitas amostras, abrangendo a grande variedade de informações químicas dos diferentes espécimes. No trabalho de Gonçalves et al. (2021) foram obtidos espectros NIR de 171 amostras, entre elas madeiras de ipês encharcadas (de um sítio arqueológico) que foram comparadas com madeiras recentes de xiloteca. Entretanto, nesse estudo as madeiras puderam ser identificadas apenas a nível de gênero (*Handroanthus* e *Tabebuia*) e não houve a intenção de discriminação de diferentes espécies. Não foram encontrados, portanto, outros trabalhos sobre o uso da espectroscopia do infravermelho próximo para separação de espécies de ipês (*Handroanthus*), sendo este um projeto piloto.

Para aplicabilidade da técnica NIRS com espécies de *Handroanthus* e replicação dos modelos de discriminação gerados, é importante se atentar para a variação entre equipamentos, uma vez que as diferenças entre marca e modelos podem interferir na transferência dos dados. Este assunto foi abordado nos trabalhos de Soares et al. (2017), Bergo (2014) e Lopes (2019), tanto para equipamentos de bancada quanto portáteis, sendo constatada a necessidade de diferentes estratégias de transferência de calibração para tornar possível o compartilhamento dos dados entre equipamentos.

4. Conclusão

A partir dos resultados deste trabalho e conforme os modelos desenvolvidos, foi possível concluir que a espécie *Handroanthus serratifolius* foi a que mais se diferenciou quimicamente. O que possibilita, com a utilização do NIRS, a identificação de uma das espécies de ipê mais exploradas atualmente e em perigo de extinção conforme a Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas (IUCN *Red List*, 2020).

As análises com os espectros da superfície longitudinal tangencial apresentaram melhores resultados, o que facilita a utilização dessa metodologia em campo, já que essa superfície apresenta maior área de exposição e sofre menos variação do que a face transversal da madeira. O método PLS2-DA se mostrou mais adequado no desenvolvimento dos modelos matemáticos de discriminação, sendo obtidos bons resultados para as três espécies estudadas, sendo verificado, portanto, que existe a potencialidade da metodologia NIRS para discriminação de espécies de *Handroanthus*.

5. Literatura citada

- Ayanleye, S., and S. Avramidis. 2020. Predictive capacity of some wood properties by near-infrared spectroscopy. *Int. Wood Prod. J.* 12(2):83-94.
- Bergo, M.C.J. 2014. Transferência de calibração na discriminação de mogno e espécies semelhantes utilizando NIRS e PLS-DA. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasil.
- Bergo, M.C.J., T.C.M. Pastore, V.T.R. Coradin, A.C. Wiedenhoeft, and J.W.B. Braga. 2016. NIRS identification of *Swietenia macrophylla* is robust across specimens from 27 countries. *IAWA J.* 37(3):420-430.
- Braga, J.W.B., T.C.M. Pastore, V.T.R. Coradin, J.A.A. Camargos, and A.R. Silva. 2011. The use of near infrared spectroscopy to identify solid wood specimens of *Swietenia macrophylla* (Cites Appendix II). *IAWA J.* 32(2):285-296.
- Brown, S. 2015. Analysis of the state of the art: NIR spectroscopy. *Spectrosc.* 30(6).
- Davrieux, F., P.L.A. Rousset, T.C.M. Pastore, L.A. Macedo, and W.F. Quirino. 2010. Discrimination of native wood charcoal by infrared spectroscopy. *Quim. Nova* 33(5):1093-1097.
- Diniz, C.P., D. Grattapaglia, S.D. Mansfield, and L.F.A. Figueiredo. 2019. Near-infrared-based models for lignin syringyl/guaiacyl ratio of *Eucalyptus benthamii* and *E. pellita* using a streamlined thioacidolysis procedure as the reference method. *Wood Sci. Technol.* 53:521-533.
- Evangelista, W.V., and E.D. Costa. 2017. Avaliação de propriedades físico-anatômicas de duas madeiras usadas na produção de pisos. *Rev. Ciênc. Agroamb.* 15(2):132-138.
- Gonçalves, T.A.P., A.G. Navarro, S. Nisgoski, and J. Sonsin-Oliveira. 2021. The trees of the Water People: archeological waterlogged wood identification and near-infrared analysis in Eastern Amazonia. *Wood Sci. Technol.* 55:991-1011.
- IMAFLORA – Instituição de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola, 2021. A exploração do ipê (*Handroanthus* spp.) em florestas naturais da amazônia brasileira: desafios e oportunidades para a conservação e o manejo responsável. TimberFlow.org.br, 04. <https://www.imaflora.org/biblioteca?page=1&pesquisa=timberflow>. (acesso 27 set. 2021).
- Kunze, D.C.G.C., T.C.M. Pastore, H.S. Rocha, P.V.A. Lopes, R.D. Vieira, V.T.R. Coradin, and J.W.B. Braga. 2021. Correction of the moisture variation in wood NIR spectra for species identification using EPO and soft PLS2-DA. *Microchem. J.* 171:1-10.
- Lima, M.D.R., F.M.G. Ramalho, P.F. Trugilho, L. Bufalino, A.F. Dias Júnior, T.P. Protásio, and P.R.G. Hein. 2022. Classifying waste wood from Amazonian species by near-infrared spectroscopy (NIRS) to improve charcoal production. *Renew. Energy* 193:584-594.

- Lopes, P.V.A. 2019. Comparação da performance de três espectrômetros portáteis de infravermelho próximo para identificação de madeira mogno e espécies similares. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Brasília, Brasil.
- Mancini, M., and A. Rinnan. 2021. Near infrared technique as a tool for the rapid assessment of waste wood quality for energy applications. *Renew. Energy* 177:113-123.
- Martins, V.A. 1998. Secagem de Madeira Serrada. IBDF/DPq – LPF, Brasília. 52p.
- Mendes, R.A.G. 2014. Utilização da espectroscopia em reflectância no infravermelho próximo para discriminação de espécies da família Myrtaceae. Dissertação (mestrado), Universidade de Brasília, Brasília.
- Miranda, M.N.N., M.T. Paula, D.A. Moreira, and C.C. Melo. 2015. Propriedades físicas da madeira de ipê (*Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose) a partir de isoterms de dessorção de água. *Enciclopédia Biosfera* 11(21):1601-1608.
- Muñiz, G.I.B., M.E. Carneiro, F.R.R. Batista, F.Z. Schardosin, and S. Nisgoski. 2016. Wood and charcoal identification of five species from the miscellaneous group known in Brazil as *Angelim* by near-IR and wood anatomy. *Maderas: Cienc. Tecnol.* 18(3):505-522.
- Naves, R.P., V. Grotan, P.I. Prado, E. Vidal, and J.L.F. Batista. 2020. Tropical forest management altered abundances of individual tree species but not diversity. *Forest Ecol. Manag.* 475.
- Nisgoski, S., F.R.R. Batista, T.L. Naide, N.C.C. Laube, A.C.R. Leão, and G.I.B. Muñiz. 2018. Discrimination of wood and charcoal from six Caatinga species by near-infrared spectroscopy. *Maderas-Cienc Tecnol.* 20(2):199-210.
- Nisgoski, S., T.A.P. Gonçalves, J. Sonsin-Oliveira, A.W. Ballarin, and G.I.B. Muñiz. 2021. Near-Infrared Spectroscopy for Discrimination of Charcoal from Eucalyptus and Native Cerrado Species – Contribution to a Database for Forestry Supervision. *For. Sci.* 67:419-432.
- Norman, M., and A.R. Zunino. 2022. Demand for luxury decks in Europe and North America is pushing Ipê to the brink of extinction across the Amazon basin & threatening the forest frontier. Forest Policy Trade and Finance Initiative. Report. Forest Trends. March 2022.
- Novaes, T.V. 2021. Espectroscopia no infravermelho-próximo (NIR) para discriminar espécies florestais produtoras de madeira da Amazônia. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural da Amazônia, Pará.
- Oliveira, A.A., P.H. Siqueira, S. Nisgoski, G.I.B. Muniz, and J.H. Ferreira. 2015. Identificação de madeiras utilizando a espectrometria no infravermelho próximo e redes neurais artificiais. *Tend. Mat. Apl. Comput.* 16(2):81-95.
- Pasquini, C. 2018. Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives – A review. *Anal. Chim. Acta* 1026:8-36.

- Pigozzo, R.J.B. 2011. Espectroscopia de infravermelho-próximo em madeiras neotropicais: aplicação na identificação e predição de propriedades físicas. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Rocha, H.S., J.W.B. Braga, D.C.G.C. Kunze, V.T.R. Coradin, and T.C.M. Pastore. 2021. Identification of mahogany sliced veneer using handheld near-infrared spectroscopy device and multivariate data analysis. *IAWA J.* 42:336-347.
- Schmitz, N. (ed.), H. Beeckman, C. Blanc-Jolivet, L. Boeschoten, J.W.B. Braga, J.A. Cabezas, G. Chaix, S. Cramer, B. Degen, V. Deklerck, E. Dormontt, E. Espinoza, P. Gasson, V. Haag, S. Helmling, M. Horacek, G. Koch, C. Lancaster, F. Lens, A. Lowe, S. Martínez-Jarquín, J.A. Nowakowska, A. Olbrich, K. Paredes-Villanueva, T.C.M. Pastore, T. Ramanantoandro, A.R. Razafimahatratra, P. Ravindran, G. Rees, L.F. Soares, N. Tysklind, M. Vlam, C. Watkinson, E. Wheeler, R. Winkler, A.C. Wiedenhoft, V.Th. Zemke, and P. Zuidema. 2020. Overview of current practices in data analysis for wood identification. A guide for the different timber tracking methods. Global Timber Tracking Network, GTTN secretariat, European Forest Institute and Thünen Institute.
- Schulze, M., J. Grogan, C. Uhl, M. Lentini, and E. Vidal. 2008. Evaluating ipe (*Tabebuia*, Bignoniaceae) logging in Amazonia: Sustainable management or catalyst for forest degradation? *Biol. Conserv.* 141:2071-2085.
- Silva, A.R., T.C.M. Pastore, J.W.B. Braga, F. Davrieux, E.Y.A. Okino, V.T.R. Coradin, J.A.A. Camargos, and A.G.S. Prado. 2013. Assessment of total phenols and extractives of mahogany wood by near infrared spectroscopy (NIRS). *Holzforschung* 67:1-8.
- Silva, D.C., T.C.M. Pastore, L.F. Soares, F.A.S. Barros, M.C.J. Bergo, V.T.R. Coradin, A.B. Gontijo, M.H. Sosa, C.B. Chacón, and J.W.B. Braga. 2018. Determination of the country of origin of true mahogany (*Swietenia macrophylla* King) wood in five Latin American countries using handheld NIR devices and multivariate data analysis. *Holzforschung* 72(7):521-530.
- Snel, F.A., J.W.B. Braga, D. Silva, A.C. Wiedenhoft, A. Costa, R. Soares, V.T.R. Coradin, and T.C.M. Pastore. 2018. Potential field deployable NIRS identification of seven *Dalbergia* species listed by CITES. *Wood Sci. Technol.* 52:1411-1427.
- Soares, L.F., D.C. Silva, M.C.J. Bergo, V.T.R. Coradin, J.W.B. Braga, and T.C.M. Pastore. 2017. Avaliação de espectrômetro NIR portátil e PLS-DA para a discriminação de seis espécies similares de madeiras amazônicas. *Quim. Nova* 40(4):418-426.
- Souza, E.P.; B.M. Gomes, C.W. Fagg, L.F. Marques, A.B. Gontijo, and J. Sonsin-Oliveira (*in prep.*). Distinção de espécies de ipê (*Handroanthus*) da Amazônia por meio da anatomia macroscópica da madeira e morfologia foliar.

- Susin, F. 2018. Caracterização e secagem da madeira de 12 espécies amazônicas. Tese (doutorado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- Tsuchikawa, S., K. Inoue, J. Noma, and K. Hayashi. 2003. Application of near-infrared spectroscopy to wood discrimination. *J. Wood Sci.* 49:29-35.
- Tsuchikawa, S., and H. Kobori. 2015. A review of recente application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. *J. Wood Sci.* 61:213-220.
- UNODC – United Nations Office on Drugs and Crime. 2016. Best Practice Guide for Forensic Timber Identification. United Nations, New York.
- Vieira, H.C., J.X. Santos, E.L. Silva, P.A. Rios, G.I.B. Muñoz, S.R. Morrone, and S. Nisgoski. 2019. Potential of the near-infrared spectroscopy for the discrimination of wood and charcoal of four native Myrtaceae species in southern Brazil. *Wood Mater Sci Eng.* 16(3):188-195.
- Yin, Y., A.C. Wiedenhoeft, and L. Donaldson. 2020. Advancing Wood Identification – Anatomical and Molecular Techniques. *IAWA J.* 41(4):391-392.