



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**ANATOMIA COMPARADA DA MADEIRA DE *SWIETENIA MACROPHYLLA* KING.
(MELIACEAE) DA AMÉRICA LATINA E CENTRAL**

LOYANE TEIXEIRA ALVES

Brasília – Distrito Federal

2021



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**ANATOMIA COMPARADA DA MADEIRA DE *SWIETENIA MACROPHYLLA* KING.
(MELIACEAE) DA AMÉRICA LATINA E CENTRAL**

Aluna: Loyane Teixeira Alves

Matrícula: 16/0012767

Orientadora: Prof^a Dr^a Júlia Sonsin Oliveira – Botânica/Unb

Trabalho Final apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Brasília – Distrito Federal

2021



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**ANATOMIA COMPARADA DA MADEIRA DE *SWIETENIA MACROPHYLLA* KING.
(MELIACEAE) DA AMÉRICA LATINA E CENTRAL.**

Estudante: Loyane Teixeira Alves

Matrícula: 16/0012767

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Júlia Sonsin Oliveira

Menção: SS

Aprovado por:

Prof^a. Dr^a. Júlia Sonsin Oliveira
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Botânica – BOT/IB
Orientadora

Prof. Dr. Joaquim Carlos Gonzalez
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal – EFL/FT
Membro da Banca

Elisa Palhares de Sousa
Analista Ambiental
Laboratório de Produtos Florestais (LPF) - SFB
Membro da Banca

Brasília-DF, 7 de maio de 2021.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar até aqui, me dando forças e sabedoria.

Aos meus pais Manoel e Claudete, e meu irmão Jean, pelo amor, apoio e incentivo que serviram de alicerce para as minhas realizações.

Ao meu esposo João, pessoa com quem escolhi partilhar a vida, por todo amor e compreensão, por sempre estar ao meu lado e me apoiar ao longo de toda trajetória acadêmica.

À Prof. Dr. Júlia a qual tenho apreço, pelos anos de orientação, dedicação, paciência e todo ensinamento compartilhado que foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

Aos colegas e amigos que fizeram parte do curso de graduação, tornando esses cinco anos mais alegres e prazerosos.

Aos colaboradores deste trabalho.

*“Amar desde agora o que é do céu e, caminhando
entre as coisas que passam, abraçar
as que não passam”*

- Missal Romano

RESUMO

O gênero *Swietenia* possui três espécies nas Américas, dentre elas, a *S. macrophylla* possui alto valor no comércio madeireiro internacional, sendo apreciada pelo público consumidor devido às suas características e propriedades físicas, utilizada na fabricação de produtos. Devido ao aumento da exploração o gênero *Swietenia* foi listado no Apêndice II da CITES, exigindo licença de exportação para comercialização. A anatomia da madeira, busca compreender a estrutura e função dos elementos que constituem a madeira, sendo capaz de classificar e separá-los através de estudos taxonômicos, conforme compreensão de sua organização, variações e estrutura, relacionando esses fatores ao seu local de origem. O objetivo deste trabalho foi verificar se as características anatômicas quantitativas de *Swietenia macrophylla* King são eficazes para diferenciar as amostras provenientes de diferentes países. As análises anatômicas foram realizadas conforme instruções do IAWA Committee e análises estatísticas obtidas através do teste ANOVA e Tukey, utilizando o programa PAST, calculados índices de vulnerabilidade e mesomorfia, e PCA. As características qualitativas não apresentam variações entre países. O PCA demonstra que vasos de maior diâmetro, e largura, densidade e fração de tecido dos raios influenciou na sua separação das amostras do Brasil. Já, os menores valores dessas mesmas características, associados a uma alta densidade de vasos, separam as amostras do México. As pontoações intervasculares e radiovasculares de diâmetro maior, vasos de comprimento grande e alta densidade, raios menores e, fibras de parede finas, influenciam as amostras do Peru. Por sua vez, as amostras da Bolívia possuem valores opostos sendo possível sua separação através de fibras mais espessas. O índice de Vulnerabilidade foi menor no México e o de Mesomorfia foi menor no Brasil, contudo, ambos índices indicaram ausência de xeromorfismo em todos os países. Por fim, as características quantitativas foram usadas para separar as amostras através da PCA, de modo geral essas diferenças indicam ajustes voltados para eficiência e condução hídrica.

PALAVRAS-CHAVE: análise comparativa, fração de tecido, mogno, separação entre países, xilema secundário.

ABSTRACT

The genus *Swietenia* has three species in the Americas, among them, *S. macrophylla* has high value in the international timber trade, being appreciated by the consuming public due to its characteristics and physical properties, used in the manufacture of products. Due to the increase in exploitation of the genus *Swietenia*, it was listed in CITES Appendix II, therefore, requiring an export license for commercialization. The wood anatomy seeks to understand the structure and function of the elements which constitutes the wood, being able to classify and separate them through taxonomic studies, according to the understanding of their organization, variations and structure, relating these factors to their place of origin. The aim of this study was to verify whether the quantitative anatomical characteristics of *Swietenia macrophylla* King are effective for differentiating the wood samples from different countries. Anatomical analysis were performed as instructed by the IAWA Committee and statistical analysis using the ANOVA and Tukey test, using the PAST program, vulnerability and mesomorphic and PCA indices were calculated. Qualitative characteristics do not vary between countries. The PCA demonstrates that the larger vessels, width, density and rays tissue fraction influenced the separation of Brazil samples. Still, the lower values of the same features associated with a high density of vessels, separate those from Mexico. The inter and radiovascular pits with larger diameter, long vessels in a high density, short rays and thin walled fibers, influence the wood samples in Peru. In turn, Bolivia samples have opposite values, being possible to separate them through thicker fibers. The Vulnerability Index was lower in Mexico and Mesomorphy lower in Brazil, however, both indexes indicated an absence of xeromorphism in all countries. Finally, the quantitative characteristics were used to separate the samples through PCA. Also, in general these differences indicate adjustments aimed at efficiency and water conduction.

KEYWORDS: comparative analysis, mahogany, secondary xylem, separation between countries, tissue fraction.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Zona de ocorrência de *Swietenia macrophylla* King na América Central, América do Sul e América do Norte. Fonte: Adaptado de Lamb (1966) e em observações de campo de GROGAN et al. (2002) **15**
- Figura 2.** Plano transversal da espécie *Swietenia macrophylla*. A. Brasil; B. México; C. Peru; D. Bolívia. **22**
- Figura 3.** Plano tangencial da espécie *Swietenia macrophylla*. A. Brasil; B. México; C. Peru; D. Bolívia **23**
- Figura 4.** Resultado gráfico da análise dos componentes principais. ● = Brasil; + = México; □ = Peru e ◆ = Bolívia; CV= Comprimento de vasos; DiV = Diâmetro de vaso; DeV = Densidade de vaso; FrVaso = Fração de tecidos dos vasos; PIV = Diâmetro das pontoações intervasculares; PRV = Diâmetro das pontoações radiovasculares; CF = Comprimento de fibra; EPF = Espessura das paredes da fibra; FrFi = Fração de tecidos das fibras; DeR = Densidade de raio; AR = Altura do raio; LR = Largura do raio; FrR = Fração de tecido dos raios; FrPA = Fração de tecido do parênquima axial; V = Vulnerabilidade; M = Mesomorfia. **29**

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Regiões coletadas de *Swietenia macrophylla*. Dados climáticos. TMA = temperatura média anual; PMA = precipitação média anual; PPC = precipitação no período seco de quatro meses. **19**
- Tabela 2.** Média dos valores quantitativos e resultados das análises estatísticas do teste de Tukey (nível de 5% de probabilidade) comparando as amostras de *Swietenia macrophylla* nos países de origem para as variáveis anatômicas estudadas de vasos, pontoações e fibras. Características anatômicas estatisticamente iguais não foram escritas nenhuma letra. **23**
- Tabela 3.** Média dos valores quantitativos e resultados das análises estatísticas do teste de Tukey (nível de 5% de probabilidade) comparando as amostras de *Swietenia macrophylla* nos países de origem para as variáveis anatômicas estudadas de raios, parênquima e índices. Características anatômicas estatisticamente iguais não foram escritas nenhuma letra. **26**
- Tabela 4.** Dados da análise dos componentes principais (PCA), características que mais influenciaram em negrito..... **28**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivo Específico.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 A espécie <i>Swietenia macrophylla</i> King.	14
3.1.1 <i>Características gerais da espécie</i>	14
3.2 Anatomia da madeira.	16
3.2.1 <i>Importância do estudo anatômico da madeira</i>	16
3.2.2 <i>Anatomia comparada e identificação de madeiras</i>	17
4. MATERIAIS E METÓDOS	18
4.1 Coleta das amostras	18
4.2 Análise anatômica das amostras em laboratório	19
4.2.1 <i>Lâminas</i>	19
4.2.2 <i>Macerado</i>	19
4.3 Dados qualitativos e quantitativos	20
4.3.1 <i>Análises estatística</i>	20
5. RESULTADOS	21
5.1 Características qualitativas	21
5.2 Características quantitativas	23
5.3 Análise dos componentes principais (PCA)	28
6. DISCUSSÃO	29
7. CONCLUSÃO	33
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

As formações consideradas mais diversas dentro dos ecossistemas terrestres são as florestas tropicais (FERREIRA JUNIOR, 2008). Essas possuem sua distribuição pela América Central e entre os países da América Latina, e são conhecidas por sua alta produtividade primária e elevadas quantidades de biomassa, sendo formadas por uma variedade de espécies vegetais, resultado de suas condições edáficas propícias ao desenvolvimento das plantas (MACHADO, 2009). Contudo, observou-se nas últimas décadas um aumento exponencial na exploração de espécies florestais, causando uma diminuição significativa na disponibilidade de espécies nobres, principalmente no hemisfério sul, em países de clima tropical e subtropical (CASAROLI, 2018).

Os mognos são espécies do gênero *Swietenia*, nativas das florestas secas e úmidas da América Central e Latina, é através da exploração seletiva ou do corte raso que sua madeira é obtida, principalmente nas florestas primárias (RODAN et al., 1992). Sua madeira tornou-se uma espécie nobre conhecida mundialmente devido a sua grande importância econômica, relacionada às suas características intrínsecas de fácil trabalhabilidade, estabilidade dimensional e durabilidade altas (ARÉVALO, 2002).

No mercado internacional, sua madeira possui alto valor entre as madeiras comerciais, possuindo uma longa tradição de uso comercial (RODAN et al., 1992). Com o aumento de sua exploração, os governos dos Estados Unidos e da Costa Rica propuseram que o gênero *Swietenia* fosse listado no índice II da Convenção sobre o Comércio Internacional de Espécies Ameaçadas de Fauna e Flora Silvestres (CITES) tornando, as populações neotropicais do mogno de folhas grandes (*Swietenia macrophylla*) listadas no Apêndice II da CITES, que exige que os embarques dessa madeira sejam acompanhados por uma licença de exportação da CITES (CITES, 2003).

O secretário-geral da CITES, Willem Wijnstekers, declarou "A extração ilegal de madeira e os níveis insustentáveis de exportação estão ameaçando extinguir comercialmente o mogno de folha grande em um futuro próximo, uma tendência que se refletiu nos últimos anos pelo aumento dos preços" (CITES, 2003). Além disso, todas as populações de mogno estão incluídas no Apêndice II CITES em países da

América Central (Costa Rica e México) e América do Sul (Brasil, Bolívia e Peru) (ESCALANTE et al. 2012).

O comércio e a extração de madeira de fontes ilegais passaram a contribuir para o contínuo aumento das taxas de desmatamento atuais, e para combater e desencorajar o comércio de madeira de origem ilegal foram criadas regras para o embarcamento de madeiras (DORMONTT et al. 2015). Em um contexto mundial, visando acabar com a prática ilegal e garantir que o produtos madeireiros são de origem sustentável, a União Europeia, os EUA, o Canada e a Austrália implementaram regras para obrigar a utilização e procurar garantir a importação de madeiras que estejam seguindo as leis dos países de origem (SILVA et al. 2018).

Na busca por combater essa prática e obter plantios de sucesso, a espécie *Swietenia macrophylla* tornou objeto de estudos e pesquisas, devido às altas taxas de desmatamento e pelos prejuízos causados com o ataque de insetos no broto das plantas, afetando diretamente o seu crescimento e desenvolvimento, comprometendo a disponibilidade de madeira nobre para a indústria, tornando o interesse pela conservação das espécies e do gênero *Swietenia* atual (COSTA, 2013).

No Brasil, com a proibição de uso, essa madeira tem sido transportada para todo o país e importada sob o uso de nomes diferentes (PASTORE et al. 2011), principalmente porque há semelhança de cor e peso com espécies de grande uso comercial. No entanto, anatomicamente falando, eles geralmente possuem diferenças, sendo possível sua separação (com pes. Sonsin-Oliveira). Além disso, outro fator que acaba agravando a situação é a escassez de profissionais que identifiquem a madeira por meio de sua estrutura anatômica que torna o controle da exploração, transporte e comercialização desta espécie um desafio ainda mais complicado (com pes. Sonsin-Oliveira).

Destaca-se, que a madeira e seus produtos têm importância fundamental no desenvolvimento da nossa civilização, sendo utilizada desde os seus primórdios como matéria prima para geração de energia, produção de papel e celulose, dentre outras aplicações disponíveis (BARRICHELO, 1979). Desta maneira, o estudo anatômico além de auxiliar na identificação de espécies, possibilita informações acerca da estrutura do lenho, permitindo estabelecer uma relação entre esses atributos com as características gerais da madeira, importantes para sua utilização comercial,

destacando a massa específica, permeabilidade e resistência mecânica (EVANGELISTA et al., 2010).

O estudo tecnológico da madeira é fundamental para a caracterização de espécies, orientando seu melhor uso. Neste contexto, a anatomia da madeira, além de auxiliar na caracterização da espécie e de se correlacionar com outras propriedades físicas e mecânicas da madeira, também é ferramenta útil para separação de espécies pertencentes ao mesmo gênero, além de poder ser utilizada em outras atividades, como por exemplo, auxiliando na fiscalização de órgãos governamentais durante o transporte de madeira para que sejam evitadas práticas ilegais de comercialização entre países e no seu território de origem, evitando a exploração em excesso, e também, fornecendo subsídio de informações para o melhoramento de plantios dessas espécies em regiões diferentes, visando o seu uso comercial.

O estudo da anatomia da madeira, passa a ser direcionado às células individualmente, buscando melhor entender e avaliar as possíveis influências que causam pequenas variações de forma individual, compreendendo melhor as propriedades da madeira e os aspectos presentes em cada área de distribuição geográfica e sua relação complexa com o meio inserido (NISGOSKI, 1998). Revelando de forma rápida e eficaz informações sobre uma mesma espécie, juntamente com a capacidade de entender as variações que ocorrem dentro de um indivíduo de acordo com as condições edafoclimáticas contidas em diferentes localidades do mundo (ver NISGOSKI, 1998; ALVES & ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000).

A possibilidade de identificação anatômica da madeira adquire importância quando utilizando-se dos caracteres anatômicos, que nas últimas décadas possui considerável relevância, por sua capacidade de classificação e separação dos indivíduos e, participação na interpretação ecológica, fornecendo informações de identificação relevantes ao levantamento e controle da madeira nos países de origem, que para a comercialização legalizada é indispensável (ver ARAÚJO, 1980; NISGOSKI, 1998).

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

- Descrever a anatomia do lenho da espécie *Swietenia macrophylla* King. e avaliar quais características anatômicas são possíveis de serem usadas para diferenciar anatomicamente a espécie em países diferentes.

2.2. Objetivos Específicos

- Descrever quantitativamente e qualitativamente a anatomia do lenho da espécie *Swietenia macrophylla* King.
- Comparar as amostras da *Swietenia macrophylla* King. provenientes do Brasil, Bolívia, México e Peru para verificar quais características anatômicas podem ser utilizadas para diferenciá-las anatomicamente.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A espécie *Swietenia macrophylla* King.

3.1.1. Características gerais da espécie

O mogno (*Swietenia macrophylla* King) pertence à família Meliaceae, que compreende 50 gêneros e 550 espécies (GROSSI, 2011). Três espécies presentes nas Américas compreendem o gênero *Swietenia*, dentre eles, a espécie *S. macrophylla* que possui grande importância econômica, ocorre desde o México, passando pelo território brasileiro na Região Amazônia, estendendo-se ao Peru e à Bolívia (RODAN et al., 1992; BRUNETTA, 2006); possuindo inúmeros nomes vulgares, podendo citar: acaju, aguano, araputanga, cedro-aguano, cedro-mogno, mara, mara-vermelho, mogno-aroeira, mogno-branco, mogno-brasileiro, mogno-cinza, mogno-claro, mogno-escuro, mogno-peludo, mogno-rosa, mogno-róseo, mogno-vermelho (IPT, 1989).

É uma árvore que domina o dossel da floresta por sua robustez, atingindo uma altura média de 30m-40m, alcançando em sua fase propícia ao corte para à trabalhabilidade, quando ainda não há formação de galhos, 20m-25m de altura (GROGAN et al., 2002). A espécie possui ocorrência principalmente nas florestas

ombrófilas abertas, florestas semidecíduais e decíduais nas áreas de transição ecológica e também na floresta ombrófila densa (ALVARADO et al., 2010).

A densidade populacional elevada da espécie *Swietenia macrophylla*, está associada de modo geral a solos profundos e bem drenados, próximos à vales de rios e regiões de encostas úmidas (LAMB, 1966) e nas florestas de terra-firme, a ocorrência da espécie também foi descrita (Figura 1) (GROGAN et al., 2002). De acordo com o mesmo autor, nas zonas de transição, o mogno possui distribuição, onde há a presença de solos com média e boa drenagem, pois há a presença de diferentes comunidades vegetais.



Figura 1. Zona de ocorrência de *Swietenia macrophylla* King na América Central, América do Sul e América do Norte. Fonte: Adaptado de LAMB (1966) e em observações de campo de GROGAN et al. (2002).

A família Meliaceae devido às características anatômicas e de suas propriedades físicas, passou a ser umas das principais madeiras exportadas da América Latina, por sua resistência moderada ao ataque de fungos, é utilizada na fabricação de móveis de luxo, objetos e adornos, construção civil e acabamentos de

interiores, painéis, instrumentos musicais sendo bastante apreciada pelo público consumidor (TOMAZELLO et al., 2000, GUIMARÃES, 2004) Seu valor comercial advém das características da madeira, sua cor é castanho escuro com uma superfície lustrosa que possui reflexos dourados, podendo receber acabamentos variados, sendo mais apreciado com a coloração forte e desenhos pronunciados (CARVALHO, 2007).

A exploração seletiva e em excesso pode acabar afetando a integridade das populações deste grupo das meliáceas, existindo uma forte tendência na diminuição de indivíduos de *Swietenia*, principalmente quanto à disponibilidade para o setor comercial, sendo observado redução nas populações originais da América Central (GUIMARÃES, 2004). Sendo observada, na região da Amazônia Brasileira, uma exploração desordenada nas áreas de ocorrência natural, gerando grande impacto sobre a estrutura genética e populacional da espécie (GROGAN et al., 2002).

3.2. Anatomia da madeira

3.2.1. Importância do estudo anatômico da madeira

A anatomia (do grego “anatomé”: incisão, dissecação, com sufixo latino *ia*) da madeira discorre sobre o conhecimento dos diversos tipos celulares que apresentam no lenho dos indivíduos arbóreos, possibilitando o conhecimento da estrutura anatômica apresentando informações acerca de suas funções, organização e peculiaridades estruturais com os objetivos de conhecer a madeira e subsidiar informações valiosas para a tecnologia e utilização dos produtos florestais (NISGOSKI, 1998; BURGER & RICHTER, 1991; MOTTA, 2014). O xilema secundário possui grande importância nos estudos anatômicos e taxonômicos, sua organização exibe muitas variações e a possibilidade de obter a sua identificação por meio de análises da sua estrutura para fornecer importantes informações sobre sua madeira, tem sido interesse desde as últimas décadas, tendo em vista que a organização interna dos indivíduos variam entre as espécies, tornando possível a identificação segura de suas espécies (PINHO, 1992; COSTA, 2001; FLORSHEIM et al., 2020).

A utilização das espécies madeireiras é condicionada a uma identificação adequada, sendo uma técnica muito utilizada para a comercialização da madeira, seja *in natura* ou o produto finalizado, sendo um meio de detectar possíveis fraudes e evitar o engano ao adquirir produtos madeireiros (ZENID & CECCANTINI, 2012). As

dimensões, a densidade e o arranjo celular e seus elementos anatômicos são fatores de grande influência na comercialização e o grande desafio se mostra pertinente, quando a utilização dos recursos florestais passa a ser uma necessidade que depende do conhecimento efetivo dos elementos e de sua estrutura, para determinar a aptidão comercial, que possui alto crescimento no setor industrial (OLIVEIRA et al., 1999).

3.2.2. *Anatomia comparada e identificação de madeiras*

Os fatores genéticos e ambientais podem influenciar nas características anatômicas, a combinação desses parâmetros, associados às características anatômicas dos indivíduos são utilizados para diferenciar as espécies, as normas contidas na IAWA de 1989, são utilizadas para realizar essa descrição, sua metodologia é baseada na confirmação através da comparação de materiais de referência para as espécies (DORMONTT et al., 2015).

A utilização dos dados climáticos e geográficos, correlacionados com as características morfológicas e anatômicas dos indivíduos tornam-se objeto de estudo para a anatomia ecológica (DICKISON, 2000). O ambiente em que os indivíduos se desenvolvem interfere na sua morfologia e anatomia, tendo em vista que o seu desenvolvimento e crescimento são influenciados por fatores externos relacionados ao ambiente, e internos voltadas à sua genética e fisiologia, resultando de forma individual na sua estrutura morfológica e anatômica das árvores (FISHER et al. 2007).

Os estudos de anatomia comparada, buscam entender as adaptações de qualquer aspecto que ocorrem dentro dos indivíduos, visando relacionar suas características individuais associados ao ambiente em que se encontram, as plantas de algum modo se adaptam ao local que habitam, podendo assumir modificações anatômicas que influenciam na sua morfologia interna, gerando alterações nos tecidos e células ou apenas tornando mais especializadas (DICKISON, 2000). Em estudos realizados em anatomia comparada da madeira em diferentes níveis de fatores ambientais, observou-se que as plantas respondem utilizando fenótipos variados para os fatores que são submetidas, demonstrando que diferentes variações climáticas, podem alterar significativamente a estrutura anatômica do xilema secundário (BAAS, 1973; BAAS, 1982; COSTA et al., 2003).

Somado a isso, também é possível realizar estudos de anatomia comparada da madeira, visando a separação de sua procedência e comparação das variações adaptativas na estrutura anatômica do lenho utilizadas pela espécie para sobreviver nos diferentes habitats. Segundo Lisboa (1993), as propriedades da madeira variam entre espécies e entre árvores de uma mesma espécie, provenientes de diferentes regiões ou de uma mesma região geográfica. Quando provenientes de regiões diferentes, suas características anatômicas de uma forma geral são influenciadas, principalmente, por fatores climáticos e edáficos (ver CARLQUIST, 1977; 1980; 1988). Entretanto, segundo Sonsin et al. (2012), as características quantitativas das espécies variam dentro de sua própria amplitude.

As diferentes variações na estrutura anatômica do lenho das espécies provenientes de diferentes países ajudam a compreender algumas das mudanças estruturais da madeira em resposta às condições ambientais diversas. Entretanto, estudos que comparam a anatomia da madeira de uma mesma espécie em diferentes países ainda são poucos (ver HEKLAU & WEHRDEN, 2011), e portanto, esse trabalho irá ajudar a complementar estes estudos.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Coleta das amostras

Amostra de madeira de *Swietenia macrophylla* King. foram coletadas em madeiras localizadas no Brasil, Bolívia, México e Peru, portanto, nem todos os detalhes estão disponíveis sobre as amostras. A área apresenta clima Aw segundo a Köppen e Geiger, os dados climáticos de cada país estão fornecidos na Tabela 1, de acordo com o Climate-Data. As amostras coletadas estão armazenadas pelo setor de anatomia de madeira e química do Laboratório de Produtos Florestais (LPF), alocadas no acervo de madeira do Serviço Florestal Brasileiro (SFB) localizado em Brasília no Distrito Federal, onde foram realizadas todas as análises posteriores.

Tabela 1. Regiões coletadas de *Swietenia macrophylla*. Dados climáticos. TMA = temperatura média anual; PMA = precipitação média anual; PPC = precipitação no período seco de quatro meses.

Local de coleta / Habitat	Serrarias	LPF / SFB *	TMA (°C)	PMA (mm)	PPC
Brasil – Floresta Amazônica Brasileira, Norte	-	8; 10; 24	21.3	1392	Abaixo 25mm
México – Floresta Tropical da Península de Yucatàn, Sul	-	42; 68; 69	24.5	834	Abaixo 10mm
Bolívia – Santa Cruz de La Sierra	Industria Forestal Colser Ltda.	3; 4; 5	21.1	1668	Abaixo 40mm
Peru – Puerto Maldonado	Serraria Otorongo	4; 8; 16	21.7	1371	Abaixo 35mm

(*) Amostras identificadas e numeradas pelo Laboratório de Produtos Florestais.

4.2. Análise anatômica das amostras em laboratório

4.2.1. Lâminas

Para a microtomia as amostras de madeira foram armazenadas em álcool 70% com pouca quantidade de glicerina para auxiliar no amolecimento da madeira. Em seguida, utilizando-se um micrótomo deslizante foi feito cortes em seções transversais (Tr), longitudinais tangenciais (Tg) e longitudinais radiais (Rd) de 15 a 20 µm de espessura e duplamente coradas com safranina aquosa 1% e azul alcian aquoso 1% (1: 9) (KRAUS & ARDUIM, 1997). As lâminas de madeira passaram por uma série alcoólica (30, 50, 70, 90, 95 e 100%), seguida de acetato de butila para fixação da cor e desidratação. As lâminas histológicas foram incluídas permanentemente em resina sintética (Entellan®).

4.2.2. Macerado

As células foram maceradas utilizando o método de Franklin (1945) modificado por Kraus & Arduim (1997). Uma solução de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio (1:1), contendo lascas de madeira, permanecendo em estufa até as amostras se tornarem esbranquiçadas. Para a confecção das lâminas semipermanentes, o material dissociado é lavado com água destilada, uma bateria de álcool 30% e 50% e após, o material foi corado com corante safranina alcoólica 50% (SASS, 1958). Após, foi feita a montagem das lâminas em glicerina diluída em água, utilizando-se uma pequena quantidade do material dissociado para as análises.

4.3. Dados qualitativos e quantitativos

A análise dos dados qualitativos e quantitativos do lenho da espécie *Swietenia* foram baseadas nas normas do IAWA Committee (1989). Para cada característica anatômica, 30 medidas foram tomadas de cada indivíduo, incluindo as medidas de altura e largura do raio. Nas análises qualitativas os parâmetros observados foram os anéis de crescimento, vasos, fibras, parênquima axial, raios e inclusões inorgânicas e suas variações presentes. Para as quantitativas foi em relação à densidade (frequência por área), diâmetro e comprimento dos elementos de vaso, diâmetro de pontoações intervasculares e radiovasculares, espessura da parede e comprimento das fibras, e densidade, altura e largura dos raios.

Para estimar a porcentagem de fração dos tecidos que ocupam os vasos, fibras, parênquima axial, foi medida a área ocupada, dividindo pela área da imagem (GEROLAMO, 2017). Foi calculada o índice de vulnerabilidade e o índice de mesomorfia, que estão relacionados ao elementos de vasos, sendo ($V = \text{diâmetro do elemento do vaso} / \text{densidade do vaso}$; $M = V \times \text{comprimento do elemento do vaso}$, respectivamente) de acordo com (CARLQUIST, 1977). As observações foram feitas em microscópio óptico BH-2 da Olympus, acoplado a uma câmera Olympus DP25 e a um computador. Os dados quantitativos foram obtidos com auxílio do sistema de análise de imagens DP2-BSW.

4.3.1. Análises estatística

As análises estatísticas foram realizadas com o software PAST v3 e Microsoft Excel. A média e o desvio padrão foram calculados e, em seguida, uma ANOVA e teste de Tukey foram realizados para testar se as variáveis anatômicas da madeira

eram significativamente diferentes entre as amostras da espécie do gênero *Swietenia*. Sempre que necessário foi realizado o log para normalizar os dados quantitativos. A Análise dos Componentes Principais (PCA) foi usada para indicar quais características anatômicas separam ou agrupam as espécies.

5. RESULTADOS

5.1. Características qualitativas

Para as características anatômicas qualitativas da madeira, apenas uma descrição foi feita de *Swietenia macrophylla* King. apontando apenas as diferenças encontradas entre os locais de procedência.

Descrição anatômica (dados qualitativos) (Figura 2, 3):

Camadas de crescimento: distintas, demarcadas por linhas e/ou faixas marginais de parênquima axial.

Vasos: porosidade difusa; agrupamento de solitário e múltiplo com 2 a 3 e até 6 vasos (73,35% e 26,65%, respectivamente - Brasil; 61,32% e 38,68%, respectivamente - Bolívia; 66,74% e 33,26%, respectivamente - México; 60,78% e 39,22%, respectivamente - Peru); placa de perfuração simples; pontuações intervasculares areoladas alternas; Pontuações radiovasculares, semelhantes às pontuações intervasculares em tamanho e forma em toda a célula do raio.

Fibras: com pontuações simples ou aréolas muito reduzidas; fibras septadas; paredes muito finas no México e paredes variadas, de finas a grossas, nos outros países.

Parênquima axial: pouco difuso, paratraqueal escasso, pouco vasicêntrico e em linhas e/ou faixas marginais; 2-12 células por série no Brasil, 2-11 células por série no Peru, 3-8 células por série na Bolívia e 4-10 células por série no México.

Raios: largura de 1 a 3 células, até 4 e, poucos raios unisseriados; células do corpo dos raios procumbentes com 1 fileira marginal de células eretas e / ou quadradas e até duas fileiras no Peru; raios estratificados em diferentes partes da amostra.

Inclusões: cristais prismáticos em células dos raios e em células do parênquima axial.

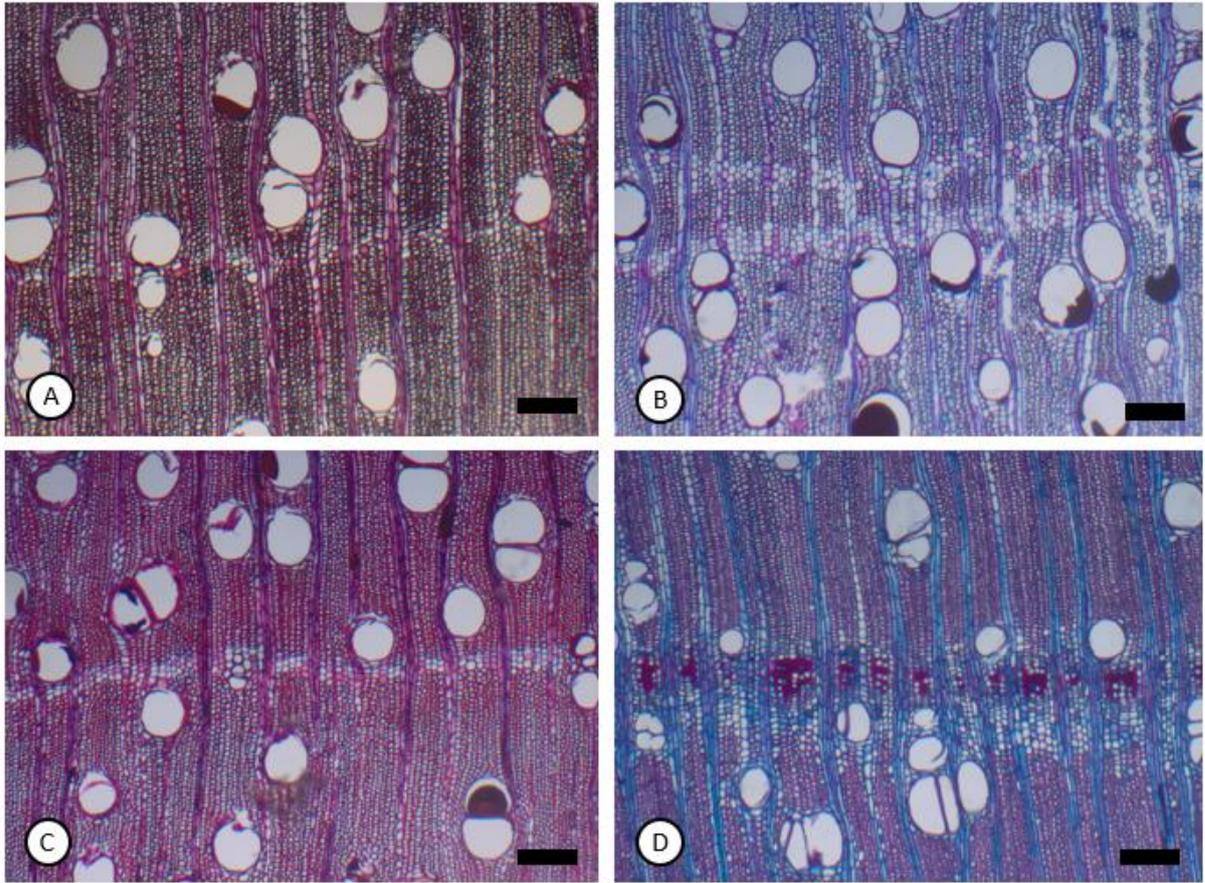


Figura 2. Plano transversal da espécie *Swietenia macrophylla*. A. Brasil; B. México; C. Peru; D. Bolívia. Barras 200 μ m

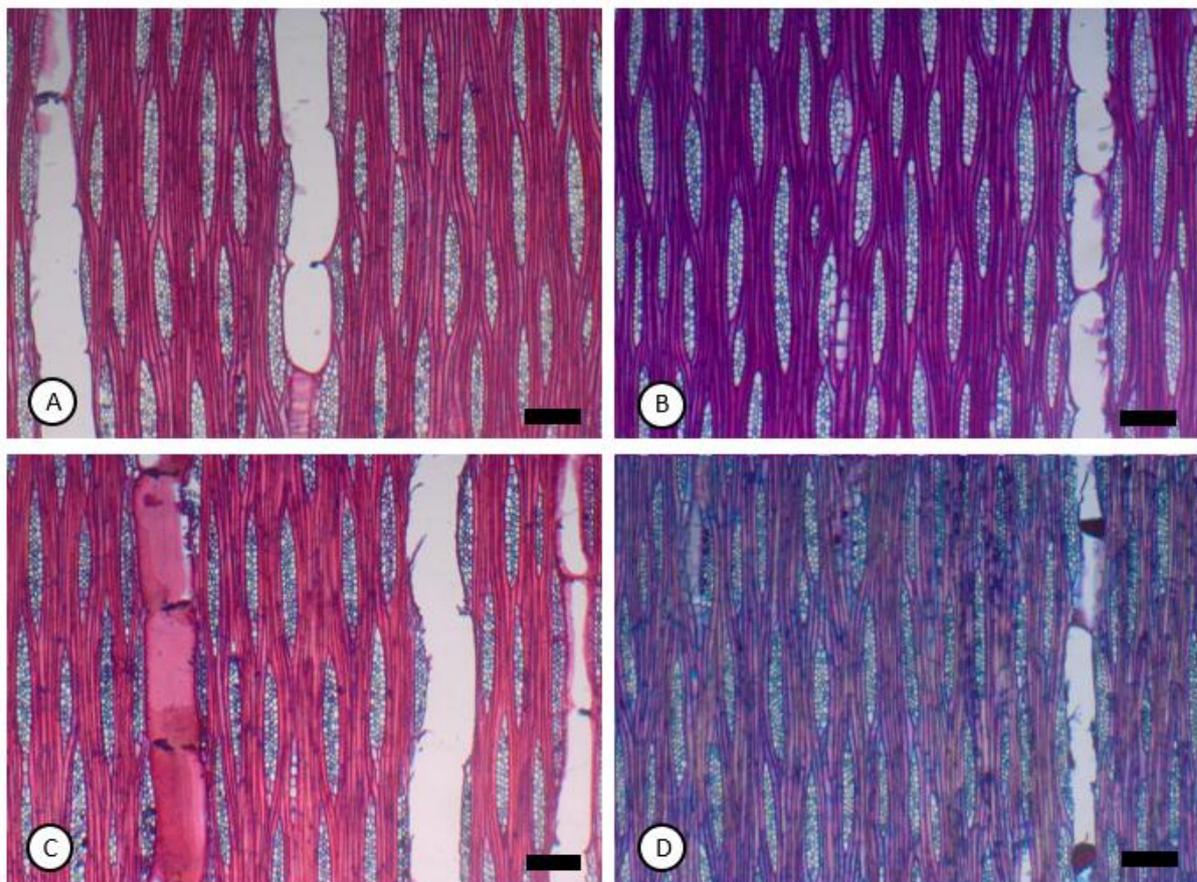


Figura 3. Plano tangencial *Swietenia macrophylla*. A. Brasil; B. México; C. Peru; D. Bolívia. Barras 200 μm

5.2. Características quantitativas

Os dados quantitativos mostraram maior variação que os qualitativos, sendo que somente o comprimento de fibra e a fração de tecido das fibras e do parênquima axial não foram diferentes estatisticamente (ver Tabela 2 e 3).

Tabela 2. Média dos valores quantitativos e resultados das análises estatísticas do teste de Tukey (nível de 5% de probabilidade) comparando as amostras de *Swietenia macrophylla* nos países de origem para as variáveis anatômicas estudadas de vasos, pontoações e fibras. Características anatômicas estatisticamente iguais não foram escritas nenhuma letra.

Local	Características anatômicas	Média	Desvio Padrão	Tukey 5%
Brasil	Comprimento de vaso (μm)	526,9	\pm 54,1	b
México		553,3	\pm 79,2	c

Peru		540,0	±	61,6	bc
Bolívia		461,4	±	75,1	a
Brasil		189,4	±	31,0	c
México		166,7	±	27,0	a
Peru	Diâmetro de vaso (μm)	177,1	±	25,2	b
Bolívia		172,5	±	25,2	ab
Brasil		7,09	±	2,47	a
México		9,25	±	3,37	b
Peru	Densidade de vaso/ mm^2	8,61	±	2,77	b
Bolívia		7,73	±	2,55	a
Brasil		17727	±	5803	b
México		14627	±	5862	ab
Peru	Fração de tecido - Vasos (0,25/ mm^2)	16437	±	3396	b
Bolívia		10776	±	4135	a
Brasil		2,69	±	0,57	b
México		3,11	±	0,50	c
Peru	Diâmetro das pontoações intervasculares (μm)	2,97	±	0,58	c
Bolívia		2,28	±	0,46	a
Brasil		2,66	±	0,56	b
México		3,21	±	0,59	c
Peru	Diâmetro das pontoações radiovasculares (μm)	3,04	±	0,50	c
Bolívia		2,32	±	0,49	a
Brasil	Comprimento de fibra (μm)	1289	±	220	

México		1285	±	190	
Peru		1237	±	178	
Bolívia		1242	±	214	
Brasil		6,10	±	2,50	c
México	Espessura da parede da fibra (µm)	5,14	±	1,21	b
Peru		4,59	±	1,48	a
Bolívia		6,59	±	1,76	d
Brasil		54544	±	13998	
México	Fração de tecido - Fibra (0,25/mm ²)	58048	±	10178	
Peru		57473	±	6868	
Bolívia		64315	±	9389	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si estatisticamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Para *S. macrophylla* foram observados vasos de menor diâmetro e uma menor fração do tecido (área) dos vasos foram encontrados no México e Bolívia, e são considerados estatisticamente iguais para ambas as características. O Brasil teve vasos de maior diâmetro, sendo estatisticamente diferente dos outros países. Uma baixa densidade de vasos foi observada no Brasil e na Bolívia, considerados iguais estatisticamente, já o México teve maior densidade juntamente com o Peru, ambos estatisticamente iguais, e os menores comprimentos dos elementos de vaso foram observados na Bolívia, possuindo diferença estatística dos demais países.

Para as pontoações intervasculares e radiovasculares o mesmo padrão foi observado, maiores diâmetros foram encontrados no México e Peru, sendo iguais estatisticamente entre si e diferentes dos demais países. Na Bolívia foram encontrados menores diâmetros das pontoações para ambas as características, possuindo diferença estatística dos outros países.

O valor médio para espessura da parede das fibras, consideradas finas a espessas, foi maior na Bolívia considerado estatisticamente diferente dos demais,

seguida do Brasil, encontrando paredes mais finas para o Peru, sendo todos os países diferentes estatisticamente.

Tabela 3. Média dos valores quantitativos e resultados das análises estatísticas do teste de Tukey (nível de 5% de probabilidade) comparando as amostras de *Swietenia macrophylla* nos países de origem para as variáveis anatômicas estudadas de raios, parênquima e índices. Características anatômicas estatisticamente iguais não foram escritas nenhuma letra.

Local	Características anatômicas	Média	Desvio Padrão	Tukey 5%
Brasil	Densidade de Raio/mm ²	5,64 ±	1,18	b
México		5,54 ±	1,25	ab
Peru		5,23 ±	1,17	a
Bolívia		6,08 ±	1,25	c
Brasil	Altura do Raio (µm)	435,7 ±	69,3	b
México		425,3 ±	70,8	b
Peru		409,3 ±	122,5	a
Bolívia		413,7 ±	77,4	ab
Brasil	Largura do Raio (µm)	58,19 ±	17,06	b
México		50,08 ±	10,72	a
Peru		50,29 ±	12,63	a
Bolívia		50,14 ±	10,55	a
Brasil	Fração de tecido - Raio (0,25/mm ²)	13039 ±	2984	b
México		12677 ±	3196	b
Peru		15541 ±	4452	b
Bolívia		9189 ±	1804	a
Brasil		14690 ±	13524	

México	Fração de tecido - Parênquima axial (0,25/mm ²)	14648	±	7026	
Peru		10549	±	3858	
Bolívia		15720	±	9624	
Brasil	Índice Vulnerabilidade	29,89	±	11,64	c
México		20,25	±	7,58	a
Peru		23,00	±	9,33	b
Bolívia	Índice Mesomorfia	25,41	±	11,13	b
Brasil		15872	±	7027	b
México		11106	±	4156	a
Peru		12420	±	5279	a
Bolívia		11726	±	5507	a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si estatisticamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

A maior densidade de raios foi observada para as amostras da Bolívia, já a maior largura de raio ocorreu no Brasil, sendo estatisticamente diferente dos demais. Já a menor densidade de raio foi encontrada no Peru e no México. A altura de raio foi menor para o Peru e a Bolívia que são estatisticamente semelhantes entre si. A fração de tecido do raio foi menor na Bolívia, o único país estatisticamente diferente.

O parênquima axial variou quanto ao tipo linhas ou faixas (com até 3 células de largura e com mais de 3 células de largura, respectivamente) e na quantidade do parênquima apotraqueal difuso, observado em maior quantidade em *S. macrophylla* do México, entretanto, não foi observada diferença estatística da fração deste tecido.

A característica dos vasos está refletida nos índices de vulnerabilidade e mesomorfia, o México apresenta o menor índice de vulnerabilidade, sendo estatisticamente diferente dos demais. Tanto para o índice de vulnerabilidade quanto o de mesomorfia, o Brasil possui maior valor sendo este estatisticamente diferente dos demais.

5.3. Análise dos componentes principais (PCA)

Nas análises de componentes principais (Tabela 4, Figura 4), foram selecionadas as características que foram estatisticamente diferentes pelo ANOVA a 5% de probabilidade, os índices de vulnerabilidade e mesomorfia também foram retirados, pois esses índices têm relação direta com os parâmetros dos vasos. O eixo 1 explica 53,76% das variações e o eixo 2 explica 42,89%, as duas variáveis explicam 96,65% da variação total. As características anatômicas que influenciam positivamente na separação das espécies no componente 1 são as pontoações intervasculares e radiovasculares, e pelo comprimento do elemento de vaso, sofrendo influência negativa da espessura da parede das fibras. No componente 2, a influência positiva advém da densidade dos raios, fração do tecido dos raios e diâmetro dos elementos de vaso, sendo influenciada negativamente pela densidade dos vasos por mm².

Tabela 4. Dados da análise dos componentes principais (PCA), características que mais influenciaram em negrito.

	Eixo 1	Eixo 2
Comprimento de vaso (μm)	0.36046	0.19904
Diâmetro de vaso (μm)	-0.16196	0.41777
Densidade de vaso/mm ²	0.3453	-0.24989
Fração de tecido - Vasos (0,25/mm ²)	0.2038	0.39965
Diâmetro das pontoações intervasculares (μm)	0.39466	0.10941
Diâmetro das pontoações radiovasculares (μm)	0.4047	0.055945
Espessura da parede da fibra (μm)	-0.34914	-0.19466
Densidade de Raio/mm ²	-0.15007	0.40547
Altura do Raio (μm)	0.31328	0.27389
Largura do Raio (μm)	-0.31292	0.29748
Fração de tecido - Raio (0,25/mm ²)	-0.15181	0.42753

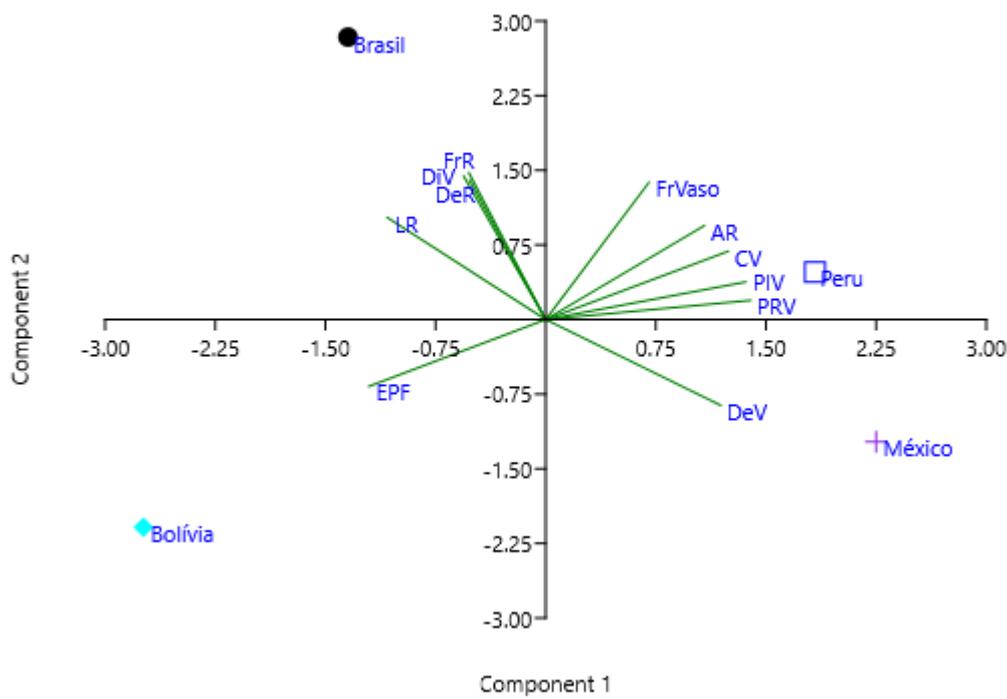


Figura 4. Resultado gráfico da análise dos componentes principais. ● = Brasil; + = México; □ = Peru e ◆ = Bolívia; CV= Comprimento de vasos; DiV = Diâmetro de vaso; DeV = Densidade de vaso; FrVaso = Fração de tecidos dos vasos; PIV = Diâmetro das pontoações intervasculares; PRV = Diâmetro das pontoações radiovasculares; CF = Comprimento de fibra; EPF = Espessura das paredes da fibra; FrFi = Fração de tecidos das fibras; DeR = Densidade de raio; AR = Altura do raio; LR = Largura do raio; FrR = Fração de tecido dos raios; FrPA = Fração de tecido do parênquima axial; V = Vulnerabilidade; M = Mesomorfia.

6. DISCUSSÃO

As características anatômicas qualitativas foram muito semelhantes entre os diferentes países e com a bibliografia consultada (WHITE & GASSON, 2008; LEMMENS, 2005). Os parâmetros anatômicos analisados quantitativamente, foram significativos ($p < 0,05$), exceto para a fração dos tecidos do parênquima axial e das fibras e de seu comprimento.

Todos os países apresentam vasos de diâmetro grande (aprox. > 160 µm) e de baixa densidade (entre 7-9/mm²). Carlquist (2001) afirma que é comum esperar que a densidade seja inversamente proporcional ao diâmetro dos elementos de vaso, podendo sofrer variações de acordo com o ambiente. As diferenças encontradas nas características dos vasos podem ser interpretadas do ponto de vista fisiológico, de acordo com seus parâmetros de segurança e eficiência da condução hídrica. Segundo Zimmerman (1982), vasos largos são condutores eficientes e vasos menores proporcionam maior segurança.

Foi observado vasos com diâmetro 11% maiores no Brasil em comparação com o México, que teve o menor diâmetro. Essa diferença de diâmetro que ocorre no Brasil, resulta em uma eficiência maior na condução de água, uma vez que de acordo com Janssen (2020), as propriedades hídricas do xilema surgem de uma combinação de características que estão relacionadas à anatomia do xilema, em que, ter vasos ligeiramente mais largos, resulta em um aumento considerável na condutividade e eficiência hídrica. E em contrapartida, a presença de diâmetros de vaso menores como os do México, podem ser explicadas como uma estratégia para a maior segurança na condução.

Outro fator importante, é a quantidade de fração do tecido dos vasos, sendo esperado que haja uma relação com a eficiência hídrica. No Brasil a média observada para esse parâmetro foi de 39% maior que na Bolívia, país com menor média, demonstrando que possivelmente a quantidade da fração desse tecido combinada aos diâmetros maiores, quando em ambientes favoráveis, podem auxiliar mais o transporte hídrico (ver CARLQUIST, 1985).

Na análise da PCA o diâmetro de vasos influenciou positivamente para a separação das madeiras coletadas no Brasil. E, o Brasil e México foram influenciados negativamente no eixo 2 pela menor e maior densidade de vasos, respectivamente. Gasson (2010) ao estudar a espécie *Dalbergia nigra* com o objetivo de distinguir de espécies semelhantes, observou que as características associadas aos vasos quando submetidas à comparação entre a espécie *Dalbergia tucurensis*, demonstrou que a variação dentro da mesma espécie, às vezes é maior do que em membros de espécies diferentes; podendo dificultar até a identificação correta entre as procedências, por isso, é necessário utilizar as outras características para tentar auxiliar na identificação.

A presença de comprimentos de vasos e pontoações intervasculares 16%, 26,5% respectivamente, maiores encontradas no México em comparação com a Bolívia que possui menores valores, pode ser considerado como um mecanismo para compensar o menor diâmetro de vasos que as amostras deste país apresenta. O maior comprimento e diâmetro das pontoações intervasculares, causaria por consequência uma alteração na relação total por unidade de volume da madeira, o que pode favorecer na capilaridade (MARCHIORI, 2007).

A presença de vasos mais longos, contribui para uma condução maior e mais específica no xilema secundário, através das pontoações e ainda podem auxiliar na resistência dos indivíduos através da passagem da água (JANSSEN, 2020), o que levaria ao favorecimento no transporte em indivíduos de ambientes com maior disponibilidade hídrica (DENARDI & MARCHIORI, 2005). No PCA o comprimento dos vasos e as pontoações intervasculares e radiovasculares no eixo 1, influenciaram positivamente na separação das madeiras de origem Peruana.

O índice de vulnerabilidade desenvolvido por Carlquist (1977), avalia a segurança na condução hídrica que é observada pelo risco dos indivíduos desenvolverem embolia ao longo da coluna de água. Segundo o mesmo autor, índices de vulnerabilidade menores demonstram que é maior a segurança da condução pelo xilema, mesmo sendo menos eficiente no transporte. O país que apresentou menor índice de vulnerabilidade foi o México (20), local que apresenta a menor precipitação média anual (834 mm/ano), com menor disponibilidade pluviométrica em comparação aos outros países, podendo indicar um ajuste às condições locais de desenvolvimento. Valores que se encontram semelhantes ao observado na literatura em ambientes com baixa disponibilidade hídrica (DENARDI & MARCHIORI, 2005, MELO JÚNIOR, 2018).

O índice de Mesomorfia, desenvolvido por Carlquist (1997), tem como função indicar se a estrutura anatômica da madeira possui adaptações necessárias para sobreviver em ambientes que apresentam condições xéricas, possuindo relação direta com os comprimentos dos vasos, em que, vasos de maior comprimento estão relacionados à ambiente mais méxicos. Segundo Carlquist (1997), quanto maior o valor do índice de mesomorfia, mais apta a planta está para viver em ambientes mais úmidos; e, o valor mais alto desse índice foi encontrado nas amostras do Brasil,

indicando uma aptidão para viver em ambientes mais úmidos. Para uma espécie ser considerada xeromórfica, os indivíduos devem apresentar índices abaixo de 30 (Carlquist, 1977), o que não foi observado em nenhuma das amostras deste estudo, ao contrário, todos os valores foram muito acima de 11100.

Na análise da PCA, a altura dos raios influenciou positivamente na separação do Peru com os outros países, que teve o menor valor e foi diferente estatisticamente dos demais. A largura e a fração de tecido dos raios influenciaram positivamente na separação das amostras do Brasil, que foram 13% mais largos em comparação com o México, sendo influenciado negativamente por essa característica. A maior densidade foi encontrada na Bolívia sendo 13% maior do que no Peru, influenciando positivamente o Peru e negativamente as madeiras coletadas na Bolívia.

O comportamento dos parâmetros associado aos raios não apresentou muitas variações estatisticamente diferentes entre os países. Para a fração do raio, por exemplo, foi observado uma variação de 40% entre o Peru, com o maior valor, e a Bolívia, sendo esta última estatisticamente diferente dos outros países. Segundo Morris (2016), os raios representam a maior parte das células vivas presentes na madeira, desempenhando funções de armazenamento e transporte de nutrientes. Assim, diferenças na suas estruturas refletem na execução dessas funções, em que raios mais largos, como os encontrados no Brasil, podem influenciar na densidade da madeira tornando-a mais flexível (ZHENG & MARTINEZ-CABRERA, 2013). A fração dos tecidos, segundo os mesmos autores, revelam estratégias diferentes no indivíduo, sendo esse parâmetro bastante amplo e influenciado pela densidade, podendo afetar nas diferenças mecânicas e hidráulicas no indivíduo; o que foi observado entre o Peru e a Bolívia, sendo este último com maior densidade de raios.

A espessura da parede das fibras foi 22% maior para a Bolívia em comparação ao Peru que dispõe de menor valor. Sabendo que anatomicamente as fibras fazem parte da constituição da madeira e sua função principal é a sustentação mecânica, estudos das dimensões das fibras se tornam importantes para atestar suas propriedades mecânicas (RIBEIRO, 2011). Além disso, esse maior espessamento da parede das fibras, encontrados na Bolívia, pode estar relacionado a uma combinação que visa eficiência-segurança na condução da seiva, em que, segundo Tyree et al.,

(1994), vasos condutores ao serem combinados com fibras de parede mais espessas, podem fornecer mais resistência à madeira aumentando sua densidade.

A menor fração de tecido dos vasos foi encontrada na Bolívia, com fibras de paredes mais espessas e uma menor fração de raios nas amostras desse país, sugerindo que as paredes das fibras além de contribuir com a resistência mecânica, favorecem ainda mais o suporte dos vasos para resistirem às pressões geradas durante a condução hídrica. Esses fatores relacionados entre si, sugerem uma importância que influencia diretamente na segurança hidráulica do xilema (JANSSEN, 2020). No PCA, a espessura da parede das fibras exerceu influência negativa na Bolívia, o que possibilita sua separação dos demais países.

7. CONCLUSÃO

As características qualitativas, por serem mais estáveis, não auxiliam na separação da espécie *S. macrophylla* coletada em diferentes países. Entretanto, as características de comprimento de vasos, diâmetro de vasos, diâmetro das pontoações inter e radiovasculares, são as que mais auxiliam, incluindo a fração de tecidos, medição que não é comumente realizada, mas neste trabalho a fração do tecido de vaso e fibras influenciaram na separação das madeiras coletadas na Bolívia. Demonstrando que as características quantitativas estão susceptíveis à variações do ambiente e foram utilizadas na diferenciação das amostras, principalmente os caracteres anatômicos relacionados aos vasos que demonstram influenciar a eficiência e condução hídrica nos indivíduos.

Os resultados da PCA foi capaz de separar todos os países por meio das diferenças anatômicas encontradas, em que o maior diâmetro de vasos e largura dos raios, altos valores de densidade de raio e fração de tecido separaram das madeiras coletadas no Brasil. Já os menores valores dessas características, além da alta densidade de vasos, separam das madeiras coletadas no México. O grande diâmetro das pontoações inter e radiovasculares, grande comprimento de vasos e menor altura dos raios e pela alta fração de tecidos dos vasos separam o Peru; já a Bolívia, foi o oposto, sendo separada por ter as fibras mais espessas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, R. J.; TOMAZELLO, M.; POLLITO, P. A. Z.; LOBÃO, M. S. 2010. Variação da densidade do lenho e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla*, da floresta tropical amazônica do Peru. *Scientia Forestalis*. 38: 171-179.
- ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. 2000. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. *IAWA Journal*. 21: 3-30.
- ARAÚJO, P. A. D.; MATTOS FILHO, A. D. 1980. A importância da anatomia do lenho para a comercialização da madeira. *Rodriguésia*, 32: 315-318.
- ARÉVALO R. L. 2002. Influence des composantes secondaires et de la structure anatomique sur les propriétés physicomécaniques du bois d'acajou (*Swietenia macrophylla* King) [tese]. Québec: Université Laval.
- BAAS, P. 1973. The wood anatomical range in *Ilex* (Aquifoliaceae) and its ecological and phylogenetic significance. *Blumea*. 21: 193-258.
- BAAS, P. 1982. Systematic, phylogenetic, and ecological wood anatomy history and perspectives. In: *New perspectives in wood anatomy*. Springer, Dordrecht. 23-58.
- BAAS, P.; WERKER, E. E.; FAHN, A. 1983. Some ecological trends in vessel characters. *IAWA Bull.* 4: 141-159.
- BARRICHELO, L. E.; BRITO, J. O. 1979. A utilização da madeira na produção de celulose. *Circular Técnica*, 68.
- BRUNETTA, J. M. F. C.; OTONI, W. C.; PINHEIRO, A. L.; FONSECA, E. P. 2006. Calogênese in vitro em segmentos de epicótilo de mogno (*Swietenia macrophylla* King) com uso de 6-benzilaminopurina e ácido α -naftalenoacético. *Scientia Forestalis*. 71: 19-24.
- BURGER, M. L.; RICHTER, H. G. 1991 *Anatomia da madeira*. São Paulo: Nobel. 154.
- CARLQUIST, S. 1977. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. *Amer. J. Bot.* 64: 887-896.

- CARLQUIST, S. 1980. Further concepts in ecological wood anatomy, with comments on recent work in wood anatomy and evolution. *Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany*, 9: 499-553.
- CARLQUIST, S. 1985. Observations on functional wood histology of vines and lianas. *Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany*, 11: 139-157.
- CARLQUIST, S. 1988. Comparative wood anatomy. Systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood. Springer-Verlag, Berlin. 1-436.
- CARLQUIST, S. 2001. Comparative wood anatomy: systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood. 2 ed. Springer-Verlag, Berlin.
- CARVALHO, P. E. R. 2007. *Mogno-Swietenia Macrophylla*. Embrapa Florestas - Circular Técnica (INFOTECA-E).
- CASAROLI, D.; ROSA, F. D. O.; ALVES JÚNIOR, J.; EVANGELISTA, A. W. P.; BRITO, B. V. D.; PENA, D. S. 2018. Aptidão edafoclimática para o mogno-africano no Brasil. *Ciência Florestal*, 281: 357-368.
- CITES. 2003. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. Appendices I, II and III. Disponível em: <www.cites.org/eng/app/index.php> . Acesso em: 05 de maio de 2021.
- COSTA, A. 2001. Coletâneas de Anatomia da Madeira. 42.
- COSTA, C. G.; CALLADO, C. H.; CORADIN, V. T. R.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. 2003. Xilema. In: APPEZZATO-DA-GLORIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (Eds.) *Anatomia Vegetal*. Viçosa: UFV. 5: 129-154.
- COSTA, J.R. 2013. Cultivo e manejo do mogno (*Swietenia macrophylla* King) – Manaus: Embrapa Amazônica Ocidental. (Documentos/ Embrapa Amazônica Ocidental, ISSN 1517 – 3135;114). 36.
- DENARDI, L.; MARCHIORI, J.N.C. 2005. Anatomia ecológica da madeira de *Blepharocalyx salicifolius* (H.B.K.) Berg. *Ciência Florestal* 15: 119-127.
- DICKISON, W. C. Integrative plant anatomy. Academic press, 2000.
- DORMONTT, E. E.; BONER, M.; BRAUN, B.; BREULMANN, G.; DEGEN, B.; ESPINOZA, E.; GARDNER, S.; GUILLERY, P.; HERMANSON, J. C.; KOCH, G.; LEE,

- S. L.; KANASHIRO, M.; RIMBAWANTO, A.; THOMAZ, D.; WIEDENHOEFT, A. C.; YIN, Y.; ZAHNEN, J.; LOWE, A. 2015. Forensic timber identification: it's time to integrate disciplines to combat illegal logging. *Biological Conservation*, 191: 790-798
- ESCALANTE, E.; SARAVIA, P.; BRAVO, F. 2012 Survival and growth of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King) seedlings in two provenance trials in Bolivia. *Ecología en Bolivia* 47: 37–52.
- EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; VALLE, M. L. A.; XAVIER, B. A. 2010. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* ST Blake. *Scientia Forestalis*, 38: 273-284.
- FERREIRA JÚNIOR, E. V.; SOARES, T. S.; COSTA, M. F. F. D.; MORAES E SILVA, V. S. 2008. Composição, diversidade e similaridade florística de uma floresta tropical semidecídua submontana em Marcelândia-MT. *Acta amazônica*, 38: 673-679.
- FISHER, J.B.; GOLDSTEIN, G.; JONES, T.J. & CORDELL, S. 2007. Wood vessel diameter is related to elevation and genotype in the Hawaiian tree *Metrosideros polymorpha* (Myrtaceae). *American Journal of Botany* 94: 709-715.
- 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.
- GASSON, P; MILLER, R.; STEKEL, D. J.; WHINDER, F.; ZIEMIŃSKA, K. 2010. Wood identification of *Dalbergia nigra* (CITES Appendix I) using quantitative wood anatomy, principal components analysis and naïve Bayes classification. *Annals of Botany*, 105: 45-56.
- GEROLAMO, C. S.; ANGYALOSSY, V. 2017. Wood anatomy and conductivity in lianas, shrubs and trees of Bignoniaceae. *IAWA Journal*, 38: 412-432.
- GROGAN, J. 2002. Mogno na Amazônia brasileira: ecologia e perspectivas de manejo. *Imazon*. 40.
- GROSSI, J. A.; DE GODOY, S. M.; MACEDO, C. R.; DE PAULA, G. B. N.; ROMAGNOLO, M. B., RISSO-PASCOTTO, C. 2011. Comportamento meiótico

durante a microsporogênese em espécies da família Meliaceae. Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR. 14(1).

GUIMARÃES NETO, A. B.; FELFILI, J. M.; SILVA, G. F. D.; MAZZEI, L.; FAGG, C. W.; NOGUEIRA, P. E. 2004. Avaliação do plantio homogêneo de mogno, *Swietenia macrophylla* King, em comparação com o plantio consorciado com *Eucalyptus urophylla* ST Blake, após 40 meses de idade. Revista Árvore, 28: 775-784.

HEKLAU, H.; VON WEHRDEN, H. 2011. Wood anatomy reflects the distribution of *Krascheninnikovia ceratoides* (Chenopodiaceae). Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 206: 300-309.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1989. Fichas de características das madeiras brasileiras - Mogno. 2. ed. São Paulo: IPT.

JANSSEN, T. A.; HÖLTTÄ, T.; FLEISCHER, K.; NAUDTS, K.; DOLMAN, H. 2020. Wood allocation trade-offs between fiber wall, fiber lumen, and axial parenchyma drive drought resistance in neotropical trees. Plant, cell e environment, 43: 965-980.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. 1997. Manual básico de métodos em morfologia vegetal (Vol. 1). Rio de Janeiro: Edur.

LAMB, F.B. 1996. Mahogany in tropical America: its ecology and management. Ann Arbor. University of Michigan. 220.

LEMMENS, R. H. M. J. 2005. *Swietenia macrophylla* King. Protá 7 (1): Timbers/Bois Duvre, 1.

LISBOA, C. D. J.; MATOS, J. D.; MELO, J. D. 1993. Amostragem e propriedades físico-mecânicas de madeiras amazônicas. Brasília: IBAMA.

MACHADO, K. S. S. 2009. Estrutura e composição florística de uma floresta de terra firme na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã, Amazônia Central (Doctoral dissertation, Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas).

MARCHIORI, J. N. C.; DE OLIVEIRA-DEBLE, A. S. 2007. Anatomia da madeira na subtribo *Baccharinae* Less.: Tendências gerais de ordem taxonômica e ecológica. Balduinia, 11: 9-15.

- MELO JÚNIOR, J. C. F. D.; AMORIM, M. W.; SOFFIATTI, P. 2018. Comparative wood anatomy of *Ficus cestrifolia* (Moraceae) in two distinct soil conditions. *Rodriguésia*, 69: 2109-2118.
- MORRIS, H.; PLAVCOVÁ, L.; CVECKO, P.; FICHTLER, E.; GILLINGHAM, M. A.; MARTÍNEZ-CABRERA, H. I.; JANSEN, S. 2016. A global analysis of parenchyma tissue fractions in secondary xylem of seed plants. *New Phytologist*, 209: 1553-1565.
- MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. D. S.; BRAZ, R. L.; DUARTE, A. P. C.; ALVES, R. C. 2014. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais. *Ciência Rural*, 44: 2186-2192.
- NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I.; KLOCK, U. 1998. Diferenciação anatômica da madeira de 4 espécies do gênero *Caryocar*. *Ciência e Natura*, 20: 85-100.
- OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J.W.; TOMAZELLO FILHO, M. 1999. Caracterização da madeira de Eucalipto para a construção civil. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, 56: 113-24.
- PASTORE, T.C.M.; BRAGA, J.W.B.; CORADIN, V.T.R.; MAGALHÃES, W.L.E.; OKINO, E.Y.A.; CAMARGOS, J.A.A.; MUÑIZ, G.I.B.; BRESSAN, O.; DAVRIEUX, F. 2011. Near infrared spectroscopy (NIRS) as a potential tool for monitoring trade of similar woods: Discrimination of true mahogany, cedar, andiroba and curupixá. *Holzforshung*. 65: 73-80.
- PINHO, R.A.; MAZZONI VIVEIROS, S.C.; SAJO, M.G. 1992. Contribuição ao estudo anatômico do lenho secundário de árvores da flora dos cerrados. IV. São Paulo Brasil. *Hoehnea*, São Paulo, 19: 171-183.
- RIBEIRO, A. O.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. 2011. Características das dimensões das fibras e análise do ângulo microfibrilar de *Toona ciliata* cultivada em diferentes localidades. *Floresta*, Curitiba, 41: 47-56.
- RODAN, B.; NEWTON, A.; VERÍSSIMO, A. 1992. Conservação do mogno: Situação e perspectivas. 18.
- SASS, J.E. 1958. *Elements of botanical microtechnique*. Mc Graw-Hill Book Company Inc., New York-London.

SILVA, D. C.; PASTORE, T. C.; SOARES, L. F.; DE BARROS, F. A.; BERGO, M. C.; CORADIN, V. T.; ... BRAGA, J. W. 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: 521-530.

SONSIN, J.O.; GASSON, E.P.; BARROS, C.F.; MARCATI, C.R. 2012. A comparison of the wood anatomy of 11 species from two Cerrado habitats (cerrado s.s. and adjacent gallery forest). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 170: 257-276.

TOMAZELLO, M.; BOTOSSO, P. C.; LISI, C. S. 2000. Potencialidade da família Meliaceae para dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais. F. A. Roing (comp.) EDIUC, Argentina.

TYREE, M. T.; DAVIS, S. D.; COCHARD, H. 1994. Biophysical perspectives of xylem evolution: is there a tradeoff of hydraulic efficiency for vulnerability to dysfunction?. *IAWA journal*, 15: 335-360.

WHITE, L.; GASSON, P. 2008. Mahogany. Royal Botanic Gardens.

ZENID, G. S.; CECCANTINI, G. C. T. 2012. Identificação macroscópica de madeiras. *IPT*, 23.

ZHENG, J., & MARTÍNEZ-CABRERA, H. I. 2013. Wood anatomical correlates with theoretical conductivity and wood density across China: evolutionary evidence of the functional differentiation of axial and radial parenchyma. *Annals of Botany*, 112: 927-935.

ZIMMERMANN, M. H. 1982. Functional xylem anatomy of angiosperm trees. In *New perspectives in wood anatomy* (ed. P. Baas): 59-70.