

Aluno: **Ricardo Faustino Teles** Matrícula: **02/39020**
Curso: Eng. Florestal / UnB / Dep. Eng. Florestal
Orientador: Mário Rabelo de Souza, P.h. D.
Unidade: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
Renováveis – IBAMA / Laboratório de Produtos Florestais - LPF

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO PIBIC

AVALIAÇÃO DE MADEIRAS AMAZÔNICAS PARA UTILIZAÇÃO EM INSTRUMENTOS MUSICAIS

MADEIRAS PARA VIOLÕES

Período: 1º de setembro/2003 a 1º agosto/2004

1 - INTRODUÇÃO

Apesar do Brasil possuir uma das mais vastas florestas tropicais do mundo, ele não se caracteriza como um grande exportador de instrumentos musicais. Isto se deve, em parte, a um grande tradicionalismo por parte dos fabricantes e luthiers que utilizam praticamente as mesmas espécies por muitos séculos, o que onera significativamente o seu valor no mercado internacional. Entre elas se destacam os abetos europeus, o jacarandá-da-bahia, o mogno e o cedro do oregon. Essas espécies possuem excelentes propriedades físicas e mecânicas e seus usos não se restringem somente em instrumentos musicais, mas também em móveis e outras aplicações mais finas. No Brasil, as exportações do mogno e do jacarandá-da-bahia são controladas pelo governo federal. A demanda por instrumentos musicais de qualidade tem aumentado de forma significativa a procura de madeiras alternativas no mercado.

O violão é um instrumento de corda, feito em sua grande parte de madeira. As suas principais partes de madeira são: tampo, laterais, fundos, braço, escala, ponte ou rastilho. A Figura 1 ilustra as suas principais partes e componentes.

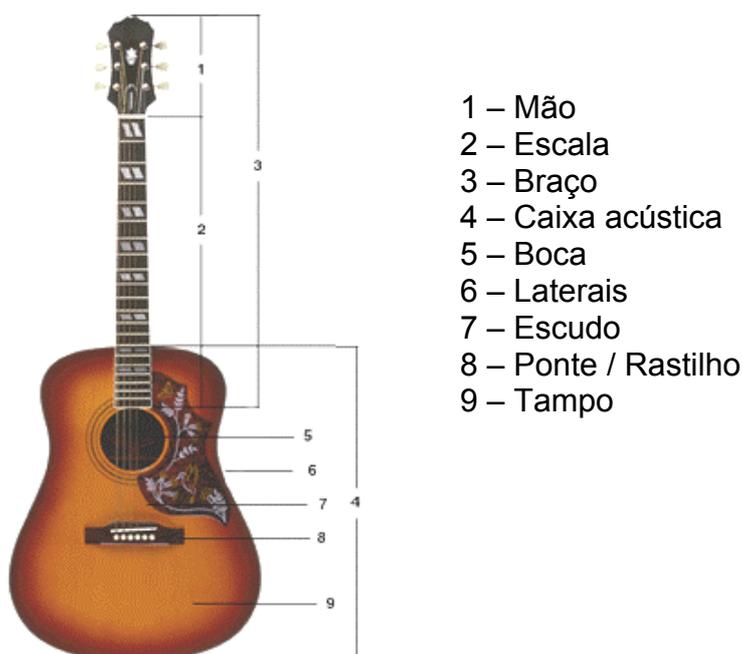


Figura 1. O violão e seus principais componentes.

Para cada parte do violão são usadas madeiras distintas, tornando-o assim, um instrumento com características particulares. No tampo, por exemplo, utilizam-se madeiras mais claras e com baixo peso específico, entretanto, nas laterais e fundos utiliza-se madeiras mais densas e escuras, dando assim um aspecto característico. Nas escalas utilizam-se madeiras mais escuras e densas, como o ébano africano, por exemplo, visto que a tensão provocada pelas cordas exige uma madeira com alta resistência mecânica, a fim de evitar empenos e torções.

A origem do violão não é muito clara, existindo assim várias vertentes para sua aparição. Entretanto, sabe-se que o violão moderno tem origem hispânica, foi criado nos últimos anos do século XIX pelo *luthier* espanhol Antonio Torres e vem sendo aperfeiçoado ou modificado pelas exigências dos grandes instrumentistas. Para Andrés Segovia, por exemplo, foram construídos modelos com uma caixa acústica maior – origem do instrumento que hoje é usado nos solos com orquestra sinfônica. Mas foi na Espanha que se desenvolveu a grande escola de composição e técnica de Francisco Tárrega (1854-1909), cuja influência ainda se faz sentir até hoje, quer na escola espanhola quer na de três países da América do Sul: Brasil, Uruguai e Argentina – seus discípulos Andrés Segovia (1894-1987) e Miguel Llobet (1875-1938) aqui estiveram várias vezes, até por períodos prolongados, e influenciaram de maneira relevante a história do violão nesses países. Segovia, excursionou por todo o mundo e teve toda a sua obra gravada. Em todos os lugares estimulou músicos a compor para o instrumento – entre eles Heitor Villa-Lobos e, numa outra geração, Turíbio Santos, no Brasil (<http://www.sescsp.org.br/sesc/revistas/pb/artigo.cfm?>). É controversa ainda a história de como, exatamente, o violão teria chegado ao Brasil. A maioria dos historiadores da música dá a sua chegada com os portugueses. Mas parece que de Portugal só nos veio realmente a viola, bem mais primitiva e diferente do violão atual – e que ainda permanece na música caipira do interior do país.

Os principais modelos estão presentes na Figura 2.

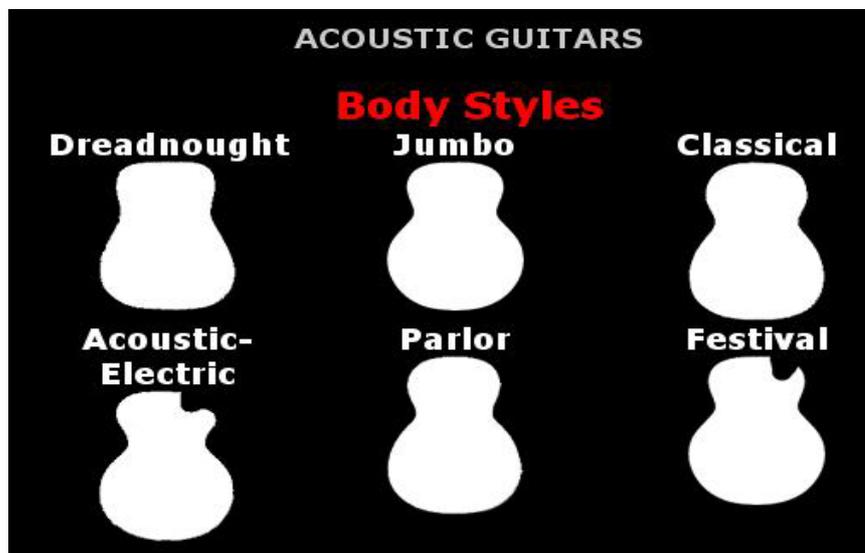


Figura 2. Modelo de violões. (<http://www.washburn.com/acoustics/index.htm>).

No Brasil, os principais modelos comercializados são o clássico, o dreadnought e o eletro-acústico. O clássico é muito utilizado por solistas em orquestras e por músicos eruditos e clássicos, e está intimamente ligado à bossa-nova e à MPB. O dreadnought e o eletro-acústico foram popularizados ainda no início do século XX pela empresa MARTIN por usar essencialmente cordas de aço e possuir uns timbres distintos do popular, que utiliza cordas de nylon. Modelos como o D-45 da empresa MARTIN podem passar de US\$ 100 mil por utilizar madeiras nobres, como o jacarandá-da-bahia e o “spruce”, e também ter uma característica de ser um instrumento raro.

O objetivo central do trabalho é avaliar todas as espécies já estudadas pelo LPF, visando o uso em violões e classificar as espécies da Amazônia para o uso em violões.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dentre as centenas de espécies florestais bem conhecidas no mundo, apenas poucas são efetivamente utilizadas para instrumentos musicais. Isto se deve basicamente a dois fatores: forte tradicionalismo, que sempre evitou qualquer iniciativa científica nesta área e, principalmente, as excelentes

propriedades físicas e mecânicas das já utilizadas para fabricação de instrumentos musicais (SOUZA, 1983).

Os violões fazem parte da classe dos instrumentos de cordas, assim como os violinos, os violoncelos e as violas. Os instrumentos de corda se diferenciam dos demais por serem rasas caixas de madeiras afinadas para produzir fortes sons a partir de excitações em suas cordas. As dimensões, finuras e o volume de ar incluso são cuidadosamente regulados para alcançar este fim. Segundo SLOANE (1973), aumentando o volume de ar incluso na carcaça de um instrumento curvado (como a viola, o violoncelo e o contra-baixo) aumenta a ressonância dos graves. O mesmo se aplica aos violões. Logo, violões com as laterais mais largas acentuam mais os graves, e violões mais rasos acentuam os médios na escala e também sofre uma redução de volume.

As principais partes de madeira usadas no violão são: tampo, laterais, fundos, braço, escala e ponte. No tampo, as madeiras mais utilizadas são os abetos das florestas européias, spruce da América do Norte e cedro do norte do Oregon (USA). Para as faixas laterais e fundos é utilizado o jacarandá-da-bahia, “nato”, mogno, “maple”, imbuía e o pau-ferro; para o braço utiliza-se o mogno e diversas “rosewood”. Para a ponte, normalmente utiliza-se as mesmas usadas nas escalas como o ébano africano, por exemplo. (SLOOTEN; SOUZA,1993)(BUCUR, 1995).

2.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS MADEIRAS DE INSTRUMENTOS MÚSICAIS

Segundo SLOOTEN;SOUZA (1993), as características gerais da madeira englobam cor, textura, figura e grã. A fabricação de instrumentos musicais é conservadora e para cada diferente componente de um instrumento se exige que haja combinações específicas destas características.

A cor da madeira para instrumentos musicais tem que levar em conta algumas exigências já consagradas pela tradição, como por exemplo, o caso dos oboés que são preferencialmente da cor preta. No caso dos violões, não existe necessariamente uma tonalidade específica, uma vez que os mesmos

possuem uma gama distinta de cores, variando do marrom-amarelo fraco (mogno) até ao marrom-acizentado escuro (jacarandá). Entretanto, os violões mais comercializados, normalmente, possuem tampos de cores mais claras (cedro de oregon, por exemplo) e laterais e fundos mais escuros (jacarandá). Com isso, os violões ganham uma cor característica, muito freqüente nos modelos clássicos.

As diferenças de cor entre cerne e alburno são também bastante importantes, tendo em vista que não se deve usar o alburno na fabricação de instrumentos musicais e que a diferença de cor entre eles facilita a separação (SLOOTEN ;SOUZA, 1993). A variação natural da madeira se deve principalmente a presença de extrativos (taninos, resinas, óleos, etc.) nas células e nas paredes celulares, que se depositam, de forma mais acentuada, no cerne (MELO, 2002). A espessura da camada do alburno é um fator limitante na seleção das espécies, uma vez que a largura mínima das tábuas para fabricação de um violão é de 20 cm, por exemplo. Como a madeira tem que ser perfeitamente radial, é necessário que o diâmetro mínimo do cerne seja de pelo menos 50 cm, o que significa que árvores com 5 cm de espessura na camada do alburno devem ter um diâmetro de pelo menos 60 cm para permitir a largura necessária (SLOOTEN;SOUZA, 1993).

Segundo MELO (2002), a textura é o termo utilizado para se referir ao efeito produzido na madeira, pelas dimensões, distribuição e abundância relativa dos elementos anatômicos estruturais da madeira. Geralmente é classificada em textura fina, média e grossa, de acordo com o grau de uniformidade da madeira.

O conceito de figura ou desenho que se obtém com a orientação de corte na madeira é bastante subjetivo, sendo de consequência de características naturais da espécie, presente no cerne e no alburno, tais como anéis de crescimento distintos, raios diferenciados, cor, tipo de grã, etc. (MELO, 2002). Desenhos especialmente atraentes têm sua origem em certas anormalidades como: grã irregular, galhas, troncos aforquilhados, nós, crescimento excêntrico, deposições irregulares de substâncias corantes, etc. (BURGER; RICHTER, 1991). O termo grã refere-se à orientação geral dos

elementos verticais constituintes do lenho em relação ao eixo da árvore (ou peça de madeira). Em decorrência dos processos de crescimento, sob as mais diversas influências, há uma grande variação natural no arranjo e direção dos tecidos axiais, originando vários tipos de grãos: grã-direita, reversa, espiralada, ondulada e torcida. De forma prática, quando se racha uma peça de madeira na direção longitudinal, ela se parte seguindo a direção dos elementos anatômicos, isto é, na direção da grã (MELO, 2002). Preferencialmente as madeiras utilizadas na confecção de instrumentos musicais devem apresentar grã-direita, no entanto, muitas espécies tropicais apresentam grã-cruzada ou entrecruzada (SLOOTEN; SOUZA, 1993).

2.2 - PROPRIEDADES FÍSICAS

Para instrumentos musicais as principais propriedades físicas são: densidade básica, contração (linear, volumétrica, tangencial e radial) e o teor de umidade inicial.

Segundo SLOOTEN; SOUZA (1993), na fabricação de instrumentos musicais a densidade básica das espécies tradicionais deve ser diferente para os vários componentes, ou seja, o peso específico de uma madeira para tampo de um instrumento de corda deve ser menor que o daquela usada para o fundo. A densidade básica é de suma importância, uma vez que possui relação direta com outras propriedades. Ela se caracteriza por ser a relação entre massa seca em estufa a 0% de teor de umidade e o volume verde (MELO, 2002). A densidade é muito usada na comparação entre propriedades de espécies e na condução de programas de secagem.

A contração é a redução das dimensões longitudinal, tangencial e radial de uma peça de madeira, em consequência da diminuição do teor de umidade (secagem), quando a umidade da madeira atinge valores abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF). De maneira geral, quanto menor a contração, mais estável dimensionalmente é a madeira (MARQUES; MARTINS, 2002).

O teor de umidade inicial é uma propriedade muito importante, visto que o período de secagem é influenciado por este fator. O teor de umidade é a quantidade de água que uma peça de madeira contém, expressa como

porcentagem do seu peso seco em estufa a. Um alto teor de umidade inicial está diretamente relacionado com a densidade da madeira, ou seja, o teor de umidade inicial diminui com o aumento do peso específico. Por conseguinte aquelas madeiras tropicais que apresentam baixa densidade e, portanto altos teores de umidade inicial são geralmente fáceis de secar sem apresentar defeitos graves.

2.3 - PROPRIEDADES MECÂNICAS

As características mecânicas da madeira de instrumentos musicais englobam principalmente a flexão estática, compressão, tração, cisalhamento e dureza. Essas características são principalmente analisadas para madeiras de baixa e média densidade, uma vez que para madeiras densas e pesadas utilizadas em instrumentos de sopro não é necessário determinar suas resistências mecânicas.

2.4 - PROPRIEDADES ACÚSTICAS

Segundo SLOOTEN; SOUZA (1993), os princípios de ressonância e as propriedades de radiação do som na madeira foram aplicados durante séculos na construção de instrumentos musicais em madeira, antes mesmo de serem cientificamente comprovados. Atualmente, as propriedades acústicas da madeira são conhecidas e podem ser devidamente investigadas.

O método de vibração forçada é o mais utilizado para determinar a frequência natural de vibração (f_r) e o decaimento logarítmico (DL). Segundo HEARMON, ele funciona da seguinte maneira: a amostra é suportada por um fio ou linha nos seus pontos nodais, e tem suas pequenas chapas de metal fixadas nas suas extremidades. Próximos às chapas ficam dois eletrodos, um deles é alimentado com corrente alternada para excitar as vibrações, e o outro serve como detector da resposta da amostra. A frequência da corrente elétrica é variada até que se atinja um ponto máximo de vibração; quando atingida esse ponto máximo a frequência natural de ressonância da amostra é obtida.

$$\text{De acordo com Hearmon: } DL = \frac{\pi * \Delta f}{\sqrt{3} * f_r}$$

onde, “fr” é a frequência de ressonância e f é o diferencial da frequência entre os dois pontos diretamente opostos, acima e abaixo do ponto de ressonância, no qual a amplitude de vibração cai para a metade do valor do ponto de pique de ressonância com a frequência de “meia amplitude” f’ e f”.

Outros métodos foram utilizados por SOUZA (1983) que consistiam no método acústico, método de comparação direta e o método estatístico. O método acústico, destinado a instrumentos de cordas, foi proposto por KOLLMAN (1968) a partir da seguinte observação: a madeira, apesar de possuir 1/10 a 1/20 da densidade dos metais em geral, tem uma velocidade de propagação sonora semelhante aos mesmos. Então definiu-se um parâmetro que chamou de resistência à onda sonora (W), e que, quanto menor, melhor será a qualidade acústica do material.

$$W = \rho \cdot v = \rho \sqrt{E/\rho} = \sqrt{\rho E}$$

onde, W= resistência à propagação sonora, ρ = densidade, v= velocidade de propagação sonora, E= módulo de elasticidade.

O método de comparação direta consiste numa comparação direta de todas as propriedades mensuráveis para a classificação. No terceiro método ou método estatístico, compara-se mais precisamente as espécies. Este método desenvolvido por CAILLIEZ (1976) utiliza a análise estatística denominada “Análise das Componentes Principais”. Neste método, tanto as grandezas mensuráveis como as não mensuráveis (grã, brilho, cor, etc.) podem ser analisadas.

2.5 – SECAGEM

A secagem da madeira para instrumentos musicais é feita preferencialmente de forma tradicional, ou seja, utilizando a secagem ao ar livre. Pode-se também utilizar da secagem artificial pelo processo convencional e secagem à baixa temperatura (desumidificação). Os resultados observados por SLOOTEN; SOUZA (1993), utilizando o tratamento de secagem artificial foi considerado excelente para instrumentos de corda, e os defeitos encontrados limitaram-se a leves rachaduras nas extremidades em algumas poucas espécies.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - ESTUDO DE MERCADO

Foi preparado um estudo do mercado atual de violões, visando o seu potencial. O estudo foi feito em lojas especializadas em instrumentos musicais nas cidades satélites de Brasília e Taguatinga, no Distrito Federal.

3.2 - ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS PARA O VIOLÃO

As características dos violões bem como as madeiras utilizadas foram analisadas a partir de páginas da Internet dos principais fabricantes mundiais e nacionais. Foi feita uma análise das principais partes de madeiras utilizadas nos violões e suas características diretas com as relações físicas e acústicas.

3.3 - LEVANTAMENTO DAS ESPÉCIES JÁ ESTUDADAS PELO LPF

Todas as espécies estudadas e publicadas no banco de dados pelo LPF foram listadas e preparado um mapa com todas as características encontradas.

3.4 - TESTE ESTATÍSTICO PRELIMINAR

As espécies foram pré-selecionadas a partir de características mensuráveis como não mensuráveis. As principais características para a pré-seleção foram: textura de média a fina, grã direita, densidade básica e contração volumétrica.

3.5 - IDENTIFICAÇÃO E COMPRA DA MADEIRA

Foram procuradas no mercado pranchas das espécies selecionadas. A direção do corte das pranchas dependeu da aplicação. Dessa forma, algumas tiveram corte radial e outras tangencial. As pranchas foram aparelhadas, ter 30 cm de largura por 5 cm de espessura e 2 metros de comprimento. Foram secas ao ar e acondicionadas a 12%.

3.6 - TESTES ACÚSTICOS

Para realização dos testes acústicos foi utilizado um parêmetro que consistia de um excitador e um captador eletromagnéticos. A amostra era colocada para vibrar de 120 a 240Hz, num intervalo de 150 segundos, com amplitude constante e uma variação na frequência em forma de degraus de 0,01Hz. A frequência requerida foi obtida através de um computador PC AMD Duron 1,4 GHz com 128 MB de memória que controlava todo o sistema e do software Cool Edit Pro 2, o qual gerava o intervalo de vibração na forma de sinal com 16 bits de definição. O detector de sinais recebia a vibração transmitida através das amostras de madeiras, as quais tinham 30 cm x 2,0 cm x 0,3 cm de dimensões (Figura 3) e possuíam duas chapas de metal de tamanhos e pesos desprezíveis em suas extremidades, e o computador os interpretava. Este sinal era lido pelo programa após ser transmitido ao longo da amostra de madeira. Junto com a leitura do sinal, o programa gravava a resposta recebida da amostra. Isto fazia com que a amostra de madeira vibrasse a uma frequência que ia aumentando progressivamente e quando esta frequência coincidissem com a frequência natural entrava em ressonância. Então era gerado um pico de resposta que era característico de cada amostra. Uma vez com a frequência de ressonância obtida, o cálculo do decaimento logarítmico foi feito de acordo com a fórmula proposta por Hearmon (1968) e através da análise do comportamento dos picos de ressonância e do seu formato. O decaimento logarítmico seria uma forma de expressão do amortecimento em um sistema ressonante. A amplitude das vibrações de um sistema ressonante amortecido, excitado por uma fonte senoidal decai de forma logarítmica com o tempo ao se interromper a excitação.

$$DL = \pi/\sqrt{3} * \Delta f/fr$$

onde, “fr” é a frequência de ressonância e “Δf” é o diferencial entre dois pontos diretamente opostos, acima e abaixo do ponto de ressonância, no qual a amplitude de vibração cai pela metade do valor do ponto de pique de

ressonância com frequência de “meia amplitude” f' e f'' . As Figuras 4 e 5 mostram as diferenças de picos de ressonâncias de diferentes amostras.

Os suportes das amostras eram de barbante de algodão e eram fixos numa distância de 10 cm das extremidades, visando à determinação da frequência natural de vibração. O esquema do equipamento utilizado está mostrado na Figura 6.

A seleção das espécies baseou-se em características específicas para cada parte do instrumento. Para o tampo buscou-se madeiras com cores claras, textura de média a fina e grã direita. A frequência de ressonância tinha que ser acima de 170 Hz, decaimento logarítmico abaixo de 0,027 e baixa densidade. Para laterais e fundo buscou-se madeiras escuras, com frequência de ressonância acima de 150 Hz, decaimento logaritmo abaixo de 0,025 e densidade acima de 0,60 g/cm³. Para o braço selecionou-se as madeiras quanto aos seus pesos e a flexão estática, buscando assim, madeiras com densidade entre 0,36 a 0,72 g/cm³ e com MOE acima de 66000 kgf/cm². Para escala buscou-se madeiras com densidade acima de 0,80 g/cm³ e com alto módulo de elasticidade e preferencialmente de cores escuras. Essas características aproximam-se das características das espécies tradicionais como o “Spruce”, Jacarandá-da-Bahia, “Maple” e o Ébano.

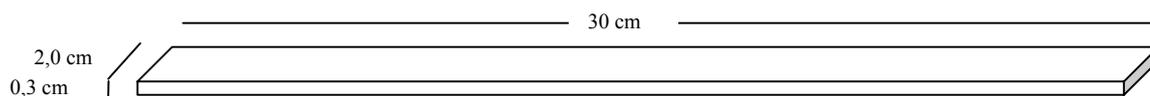


Figura 3. Medidas das chapas de madeiras.

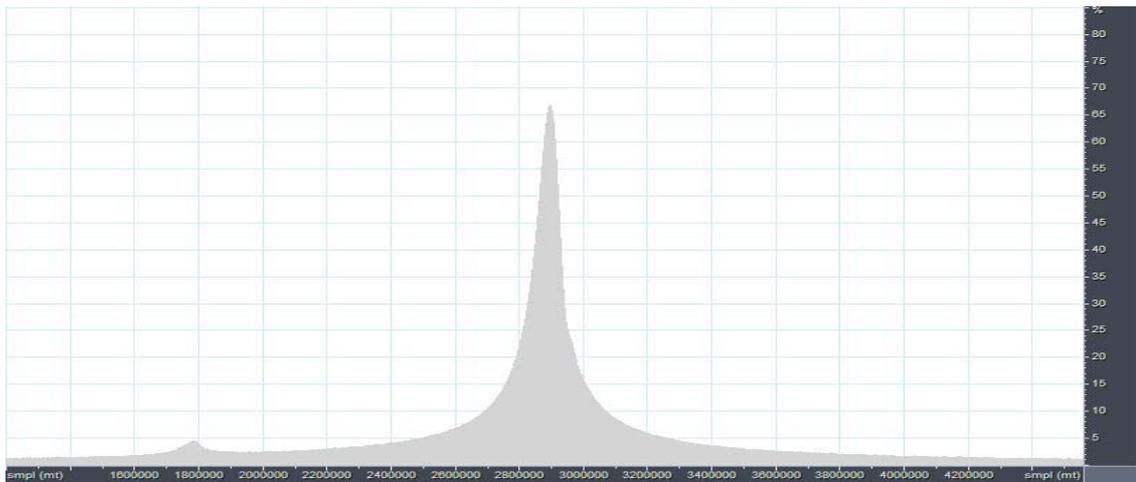


Figura 4. Pico de ressonância da amostra de macacaúba.

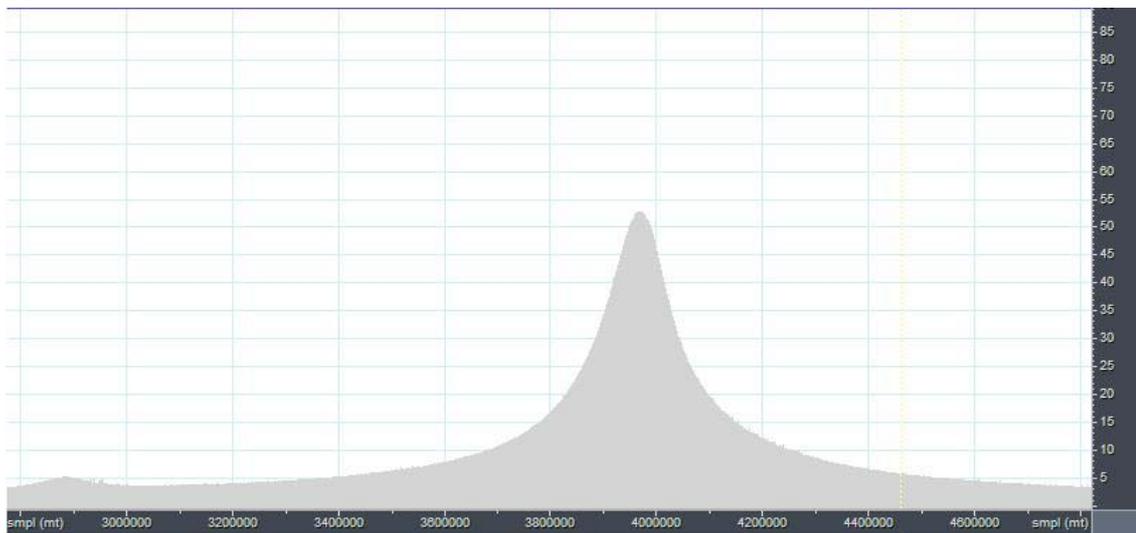


Figura 5. Pico de ressonância da amostra de ucuúba-da-terra-firme.

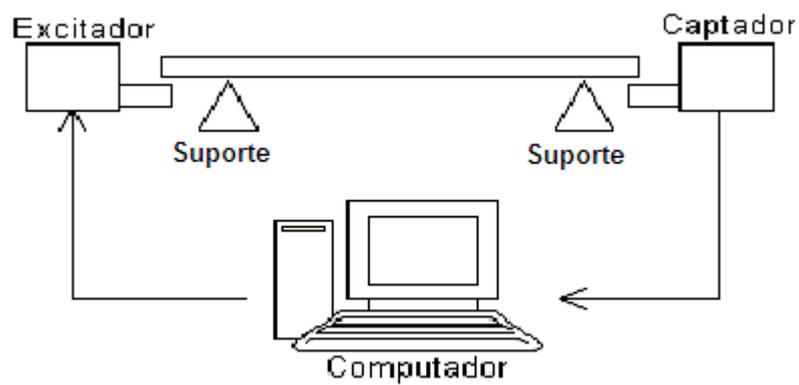


Figura 6. Esquema do equipamento utilizado.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - ESTUDO DE MERCADO

O estudo do mercado mostrou que de 60 a 70% dos violões comercializados no Distrito Federal são importados e também que dos violões nacionais vendidos, 50% deles são da empresa GIANNINI e 30% da empresa Di GIORGIO. Isso demonstra que as empresas de pequeno e médio porte têm uma certa dificuldade de entrar e se manter no mercado de violões, visto que o mercado nacional continua sendo tradicionalista com relação à origem e qualidade do produto. Segundo a Associação Nacional dos Pequenos e Médios Fabricantes de Instrumentos Musicais (ANAFIM, 2003), uma parcela da produção de violões, produto que no Brasil representa 70% dos 1700 instrumentos musicais vendidos mensalmente nas lojas de instrumentos musicais brasileira, tem como destino o mercado externo. A empresa Di Giorgio comercializa 77 mil instrumentos por ano e deste, 700 mensais são exportados.

4.2 - ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS PARA O VIOLÃO

Os violões produzidos no Brasil têm como característica a utilização de diversas madeiras para cada parte dos mesmos. Para o tampo utilizam-se madeiras não muito pesadas, com baixo peso específico, alto módulo de elasticidade, grã direita, boa trabalhabilidade, boa estabilidade dimensional e também boa para colagem e com bom acabamento final. Para o fundo a madeira não pode ser muito pesada, sem restrições quanto às propriedades mecânica, boa trabalhabilidade, boa para colagem, bom acabamento e boa estabilidade dimensional. Para o uso em braços utiliza-se madeiras com boa estabilidade dimensional, baixo peso específico e boa resistência. Para a escala utilizam-se madeiras com alto módulo de elasticidade e alto peso específico. Estas características foram utilizadas por SOUZA (1983) para avaliar madeiras amazônicas para instrumentos musicais e foi obtido um excelente resultado. As principais madeiras utilizadas pelos fabricantes foram analisadas a partir de seus catálogos estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1. Madeiras utilizadas em violões a partir dos fabricantes.

Fabricante	Tampo	Lateral e Fundo	Braço	Escala	Ponte
Gibson USA	spruce cedro do oregon	maple rosewood koa walnut mogno	maple mogno	rosewood ébano	rosewood ébano
Takamine	spruce cedro do oregon	rosewood bubinga nato mogno	maple mogno	rosewood ébano	rosewood ébano
Martin	spruce cedro do oregon Mogno	maple rosewood koa walnut mogno	mogno cedro do oregon	rosewood ébano	rosewood ébano
Giannini (Nacional)	castelo Laminado spruce cedro do oregon maple	imbúia pau-ferro radica mogno rosewood bubinga	cedro nato	morado pau-ferro ébano rosewood	morado pau-ferro ébano rosewood
Guild - Fender	spruce	rosewood mogno maple	maple mogno	rosewood ébano	rosewood ébano
José Ramirez	spruce cedro do oregon	rosewood jacarandá caviúna mogno africano	cedro do oregon	ébano	rosewood
Washburn	spruce cedro do oregon	koa rosewood ash mogno maple	mogno hopi nato maple	rosewood sonokelin	rosewood sonokelin

4.3 - LEVANTAMENTO DAS ESPÉCIES JÁ ESTUDADAS PELO LPF E TESTE ESTATÍSTICO.

Todas as espécies estudadas pelo LPF foram levantadas, obtendo assim aproximadamente 270 espécies. Com o levantamento feito, foram pré-selecionadas 26 espécies potencialmente aptas para a utilização na fabricação

de violões. As espécies selecionadas foram: açoita-cavalo, amapá-doce, andiroba, caixeta, cedro, copaíba, envira-preta, faveira folha-fina, freijó verdadeiro, grumixava, jacarandá, louro pardo, macacaúba, marupá, mogno, morototó, muiracatiara, munguba-grande-da-terra-firme, oiticia amarela, para-pará, pinho do paraná, tachi-preto-folha-grande, tauari, taxi preto, ucuúba da terra firme, urucú-da-mata. O pinho do paraná foi utilizado para estudo de comparação.

Foram utilizadas 3 espécies tradicionais em instrumentos musicais para estudo de comparação e seleção das espécies amazônicas. Estas espécies foram “maple”, ébano e “spruce”.

Algumas dessas espécies foram estudadas por SLOOTEN; SOUZA (1993) e eles obtiveram resultados excelentes, sendo selecionadas para o tampo do violão as espécies freijó, marupá, morototó e munguba; para o fundo e laterais foram selecionadas faveira folha fina, macacaúba e muiracatiara; para o braço cedro, mogno e urucu-da-mata.

4.4 - IDENTIFICAÇÃO E COMPRA DA MADEIRA

As madeiras foram compradas em Manaus e secas ao ar e acondicionadas a 12%. Todas espécies tinham corte radial e possuíam 30 cm de largura por 3 cm de espessura e 2 metros de comprimento.

4.5 – TESTES ACÚSTICOS

Os resultados dos testes físicos, mecânicos e acústicos das espécies pré-selecionadas estão listadas nas Tabelas 2 e 3. Os dados de secagem, trabalhabilidade e características anatômicas das madeiras estão no ANEXO I. Os resultados de frequência de ressonância da harmônica fundamental, decaimento logarítmico e velocidade de propagação foram obtidos através de média simples para cada espécie.

Tabela 2. Características físicas e mecânicas das espécies pré-selecionadas.

Nome Comum	Peso	Flexão Estática		Dureza Janka			Contração (%)	
	Específico	(kgf/cm ²)		(kgf)				
	Aparente g/cm ³)	MOE	MOR	Paralela	Transv	Tang	Radial	Vol
açoita-cavalo	0,54	138000	1271	973	817	9,3	4,7	13,7
amapá doce	0,70	115000	1043	734	567	7,7	4,5	12,6
andiropa	0,72	120000	1093	841	640	8,1	4,4	12,6
cedro	0,46	99000	768	762	623	12,1	9,1	20,8
cerejeira	0,60	88000	785	520	399	5,4	2,9	8,2
copaíba	0,78	123000	1179	867	664	8,2	4,1	12,5
envira preta	0,63	153000	1252	680	571	8,1	4,9	14,0
faveira folha fina	0,82	157000	1498	898	979	8,3	5,1	13,1
freijó	0,58	104000	823	446	343	8,1	4,5	11,4
freijó verdadeiro	0,53	104000	932	608	452	6,6	4,1	10,6
grapiá	0,91	129000	1272	745	845	10,1	6,5	15,9
grumixava	0,58	191400	850	510	-	8,8	4,4	15,4
guariúba/ Oiticica amarela	0,67	124000	1110	799	624	6,2	3,1	10,0
jacarandá	1,02	131451	1192	1257	-	6,4	3,6	10,6
macacauba	0,57	106000	1039	914	911	4,6	2,6	6,6
marupá	0,44	74000	653	276	143	6,8	4,8	8,3
mogno	0,55	66000	562	517	435	4,7	2,9	7,2
morototó	0,56	113000	725	489	358	9,1	6,7	15,7
muiracatiara rajada	0,80	153000	1391	891	979	7,6	4,6	11,9
munguba gr terra firme	0,60	106000	895	630	469	9,80	4,5	14,9
mururé	0,67	145000	1402	1463	1377	9,1	5,0	14,1
pará-pará	0,43	89000	562	336	192	8,2	5,4	13,9
pinho do Paraná	0,53	109300	609	274	-	7,8	4,0	13,2
tauari-amarelo	0,53	108000	905	542	380	6,6	4,2	10,9
tauari-branco	0,63	117000	1061	665	516	6,1	3,6	10,4
tauari-rosa	0,76	146000	1367	895	710	7,8	5,8	13,4
taxi preto folha grande	0,73	132000	1332	877	803	7,5	5,2	11,9
ucuúba-da-terra-firme	0,60	121000	972	671	472	8,3	4,6	13,7
urucu da mata	0,36	77000	555	396	198	6,0	2,6	9,1

Fonte: banco de dados LPF/IBAMA.

Tabela 3. Propriedades acústicas das espécies pré-selecionadas.

Nome Comum	Propriedades Acústicas		
	C (m/s)	Freq. (hz)	DL
açoita-cavalo	5043	159,82	0,031
amapá doce	4043	186,45	0,026
andiropa	4100	174,14	0,025
cedro	4616	148,96	0,029
cerejeira	3828	177,15	0,024
copaíba	3978	196,37	0,026
envira preta	4951	193,18	0,024
faveira folha fina	4384	167,26	0,026

freijó	4233	156,46	0,028
freijó verdadeiro	4454	193,55	0,019
grapiá	3762	173,39	0,034
grumixava	4950	151,62	0,034
guariúba/ Oiticica amarela	4317	169,14	0,018
jacarandá	3584	183,60	0,016
macacauba	3641	163,55	0,021
marupá	4104	167,91	0,027
mogno	3463	166,57	0,027
morototó	4577	207,26	0,026
muiracatiara rajada	4365	174,57	0,023
munguba gr terra firme	4198	175,11	0,026
mururé	4693	194,32	0,024
pará-pará	4568	198,65	0,029
pinho do paraná	4546	195,98	0,021
tauari-amarelo	4504	176,26	0,022
tauari-branco	4302	206,03	0,024
tauari-rosa	4370	182,70	0,026
taxi preto folha grande	4276	176,25	0,026
ucuúba-da-terra-firme	4109	184,97	0,026
urucu da mata	4607	173,15	0,027

C= velocidade de propagação sonora; Freq.= frequência natural de ressonância; DL= decaimento logarítmico.

Foi feita uma análise estatística visando conhecer o grau de correlação existente entre as propriedades físicas e mecânicas com as propriedades acústicas. Observou-se que existia baixa correlação entre as variáveis decaimento logarítmico e dureza janka (transversal e paralela), decaimento logarítmico e densidade, decaimento logarítmico e módulo de ruptura, decaimento logarítmico e módulo de elasticidade e nem entre decaimento logarítmico e frequência e decaimento logarítmico e velocidade de propagação, apresentando respectivamente os seguintes coeficientes de determinação (R^2): 0,02; 0,22; 0,12; 0,18; 0,0067; 0,018; 0,03. Observou-se, também, que existia baixa correlação entre as variáveis frequência e dureza janka (transversal e paralela), frequência e densidade, frequência e módulo de ruptura, frequência e módulo de elasticidade e nem entre frequência e velocidade de propagação, apresentando respectivamente os seguintes coeficientes de determinação (R^2): 0,016; 0,0018; 0,0087; 0,0203; 0,0016; 0,0034. Os gráficos das análises de regressão estão presentes no ANEXO II.

As espécies selecionadas para o uso em tampos, laterais e fundos, braço e escala estão presentes na Tabela 4.

Tabela 4. Espécies selecionadas para cada parte do violão.

Nome Comum	Nome Científico
Tampo	
freijó verdadeiro	<i>Cordia goeldiana</i> Huber
marupá	<i>Simarouba amara</i> Aubl.
morototó	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch
pará-pará	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don
tauari-amarelo	<i>Couratari oblongifolia</i> Ducke & R.Knuth
Lateral e Fundo	
andiropa	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.
copaíba	<i>Copaifera reticulata</i> Ducke
jacarandá	
mogno	<i>Swietenia macrophylla</i> King
muiracatiara rajada	<i>Astronium lecointei</i> Ducke
munguba gr terra firme	<i>Eriotheca longipedicellata</i>
mururé	<i>Brosimum acutifolium</i> Huber
Braço	
cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.
andiropa	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.
grumixava	<i>Micropholis</i> sp.
mogno	<i>Swietenia macrophylla</i> King
urucu da mata	<i>Bixa arborea</i> Huber
Escala	
jacarandá	<i>Dalbergia spruceana</i> Benth.
Faveira folha fina	<i>Piptadenia</i> sp.
mururé	<i>Brosimum acutifolium</i> Huber
taxi preto folha grande	<i>Tachigali myrmecophila</i> Ducke
Espécies Tradicionais	
spruce/ abeto pinho	
sueco	<i>Picea abies</i>
maple (átiro)	<i>Acer</i> sp.
ébano	<i>Diospyros</i> spp.

A escolha das espécies para uso em tampos de violões observou em primeiro lugar caracteres anatômicos, como a cor da madeira, a textura e a grã. As espécies selecionadas possuíam tonalidades que variavam do branco ao marrom acinzentado. Todas possuíam textura de média a fina e grã direita. Em segundo lugar foi feito uma análise comparativa dos métodos acústicos da madeira de “spruce” com as espécies selecionadas. Observou-se que as espécies morototó, marupá e freijó verdadeiro apresentam características acústicas semelhante ao “spruce”, exceto pela estabilidade dimensional do

freijó verdadeiro, e tais espécies podem ser consideradas espécies promissoras para tal aplicação. As densidades aparentes das espécies também foram analisadas e procurou-se madeiras “leves” com valores entre 0,45 e 0,55 g/cm³.

Para lateral e fundo foram analisadas inicialmente madeiras de cores escuras, de variação de tonalidade partindo do marrom ao marrom-avermelhado-escuro. Feito isso, foi analisado a densidade das madeiras, procurando madeiras com densidades altas e características acústicas semelhantes ao jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra*). O mogno, apesar de apresentar características distintas ao jacarandá da bahia, apresentou um excelente resultado tanto com as suas propriedades físicas e mecânicas tanto quanto propriedades acústicas. A andiroba e o jacarandá apresentaram características acústicas excelentes quando comparado ao “maple”, podendo ser grandes substitutos.

Para o braço foram analisadas as madeiras quanto ao peso e a flexão estática, buscando assim, madeiras leves a pouco pesadas e com boa resistência. As madeiras de grumixava, para-pará, cedro, mogno e andiroba apresentaram excelentes resultados, com exceção com relação à grã da madeira de mogno e grumixava que apresentaram respectivamente grã entrecruzada e ondulada, o que pode causar empenos e torções nos braços.

Para o uso em escalas selecionou-se madeiras com características físicas e mecânicas próximas ao ébano e ao jacarandá-da-bahia, ou seja, madeiras pesadas com alto módulo de elasticidade e cores escuras, com exceção de faveira-folha-fina que apresenta coloração marrom-amarelado-claro.

Observou-se ainda que o decaimento logarítmico e a frequência de ressonância de várias amostras das mesmas espécies apresentaram resultados distintos. Isso se deve principalmente à capacidade que a madeira tem de absorver o som, causando assim, um maior decaimento logarítmico e frequências de ressonâncias diferentes. As Figuras 4 e 5 ilustram essa diferença de absorção entre diferentes espécies. Essa diferença pode ter sido causada também devido a diferentes posições de cortes das tábuas das

amostras e em árvores de diferentes localizações. É importante ressaltar que existem variações anatômicas dentro de uma mesma árvore, causando assim, diferenças com relação à grã, densidade, e, conseqüentemente, diferenças acústicas em um mesmo indivíduo.

Os resultados obtidos mostram que as espécies nativas amazônicas selecionadas para cada parte do violão são potencialmente aptas para a fabricação de instrumentos de qualidade. Entretanto, para uma melhor elucidação dos resultados é necessário à fabricação de instrumentos acabados com diversas combinações possíveis de espécies por partes do instrumento, e também testes práticos com músicos e profissionais da área. Deve-se ressaltar ainda que esta seleção não é um critério definitivo para a escolha de uma espécie para a fabricação do instrumento, e sim, um indicativo de sua potencialidade.

5 - REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

Acoustic guitars. Atualizada em: janeiro de 2004. Disponível em: <<http://www.washburn.com/acoustics/index.htm>>. Acesso em: 15/01/2004.

Associação Nacional dos Pequenos e Médios Fabricantes de Instrumentos Musicais – ANAFIM. *Projeto do "Programa Setorial Integrado da Indústria de Instrumentos Musicais do Brasil*. Blumenau, 2003.

BROSNAC, D. *The steel string guitar: Its construction, origin and design*. San Francisco: Panjandrum Press, 1974.

BUCUR, Voichita. *Acoustics of Wood*. CRC Press. 1995. 284p.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. *Anatomia da Madeira*. São Paulo: Nobel, 1991. 155p.

CAILLIEZ, F.; PAGES J. P. *Introduction a l'analyse des donnes*. Paris: SMASH, 1976.

HEARMON, R. F. S. *The assessment of wood proprieties by vibration and high frequency acoustic waves*. U.K: Forest Research Laboratory, 1968. 49-52pp.

KOLLMAN, F. F. P. COTÊ Jr., W. A. *Principles of Wood science and technology*. Berlim: Springer – Verlag, 1968.

MARQUES, M. H. B.; MARTINS, V. A. *Secagem da Madeira*. Brasília: LPF/IBAMA, 2002.

MELO, J. E. *Madeira: Característica e aplicações*. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais/IBAMA, 2002.

PEARSON, F. G. O.; WEBSTER, C. *Timbers used in the musical instrument industry*. U.K: Forest Products Research Laboratory, 1956. 47p.

PRADA, Cecília. *A magia do violão*. 2001. Atualizada em: fev. 2004. Disponível em <http://www.sescsp.org.br/sesc/revistas/pb/artigo.cfm?Edicao_Id=105&Artigo_ID=1157#box02> Acesso em: 31 de jan. 2004.

SLOANE, I. *Classic guitar construction*. New York: E.P. Dutton & Co., 1973.

SLOOTEN, H. J. van der; SOUZA, M. R. de. *Avaliação das espécies madeireiras da Amazônia selecionadas para manufatura de instrumentos musicais*. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 1993.

SOUZA, M. R. de. *Classificação de madeiras para instrumentos musicais*. Brasília: IBDF / DEL / LPF, 1983. 21p.

ANEXO I

Tabela 1. Secagem e trabalhabilidade das madeiras pré-selecionadas.

Nome Comum	Secagem		Trabalhabilidade	
	Velocidade	Defeitos	Serragem	Aplain.
açoita-cavalo	muito rápida	rachaduras e canoamento	difícil	difícil
amapá doce	muito rápida	torcedura e endurecimento	média	médio
andiroba	muito rápida	médio	bom	bom
cedro	moderadamente rápida	encanoamento e torcimento	bom	bom
cerejeira	rápida	rachaduras de topo	-	-
copaíba	rápida	rachaduras, torcedura	média	médio
envira preta	moderadamente rápida	rachaduras, torcedura	fácil	fácil
faveira folha fina	rápida	rachaduras, torcedura	regular	regular
freijó	rápida	leves rachaduras	fácil	fácil
freijó verdadeiro	muito rápida	rachaduras e acanoamento	fácil	fácil
grapiá	muito rápida	arqueamento e torcimento	excelente	excelente
grumixava				
guariúba/ Oiticica				
amarela	rápida	rachaduras e torcimentos	fácil	regular
jacarandá	-	-	fácil	fácil
macacauba	-	-	excelente	excelente
marupá	rápida	nenhum	fácil	fácil
mogno	rápida	nenhum	regular	regular
morototó	-	-	regular	excelente
muiracatiara rajada	rápida	nenhum	fácil	fácil
munguba gr terra				
firme	rápida	rachaduras e acanoamento	fácil	fácil
mururé	média	encurvamentos médios	excelente	excelente
pará-pará	muito rápida	torcedura e endurecimento	fácil	fácil
pinho do Paraná	-	-	-	-
tauari-amarelo	muito rápida	nenhum	fácil	fácil
tauari-branco	muito rápida	tendência a rachaduras	fácil	fácil
tauari-rosa	muito rápida	nenhum	média	médio
taxi preto folha grande	moderadamente lenta	rachaduras e endurecimentos	média	difícil
ucuúba-da-terra-firme	muito rápida	rachaduras ao topo	bom	bom
urucu da mata	muito rápida	rachadura e acanoamento	fácil	médio

Fonte: banco de dados LPF/IBAMA

Tabela 2. Características anatômicas das espécies pré-selecionadas.

Nome Comum	Aspectos Anatômicos			
	Grã	Textura	Gosto e Cheiro	Cor (cerne)
açoita-cavalo	cruzada revessa	média a fina	indistinto	marrom amarelado claro
amapá doce	cruzada revessa	média	imperceptível	marrom avermelhado escuro
andiroba	direita	média	imperceptível	marrom
cedro	direita	média	agradável	rosa
cerejeira	direita	grossa	agradável	amarelo pálido
copaíba	direita	média	agradável	marrom avermelhado escuro
envira preta	direita	média a grossa	indistinto	amarelo pálido
faveira folha fina	cruzada irregular	média	indistinto	marrom amarelado claro
freijó	direita	média a grossa	indistinto	marrom
freijó verdadeiro	direita a cruzada reversa	média	-	marrom acizentado claro
grapiá	revessa	média	imperceptível	amarelo
grumixava	ondulada	fina	imperceptível	bege-claro a rosado
guariúba/ Oiticica amarela	cruzada revessa	média	indistinto	amarelo
jacarandá	direita a ondulada	média	indistinto	marrom escuro
macacauba	direita a ondulada	fina	-	marrom fraco
marupá	direita	média	imperceptível	branco amarelado
mogno	entrecruzada	média	indistinto	vermelho
morototó	direita	média	indistinto	branca
muiracatiara rajada	ondulada	média	amargo e indistinto	rosa pálido a vermelho
munguba gr terra firme	direita a cruzada reversa	média	-	marrom avermelhado
mururé	direita	média	imperceptível	marrom-forte
pará-pará	direita	média	imperceptível	branco a branco amarelado
pinho do Paraná	direita	fina	agradável	branco-amarelado
tauari-amarelo	direita	média	imperceptível	branco
tauari-branco	direita	média	imperceptível	branco amarelado
tauari-rosa	direita	média	imperceptível	marrom amarelado claro
taxi preto folha grande	cruzada irregular	média	imperceptível	marrom dourado
ucuúba-da-terra-firme	direita	média a fina	imperceptível	marrom
urucu da mata	direita	média	imperceptível	marrom rosado claro

Fonte: banco de dados LPF/IBAMA

ANEXO II

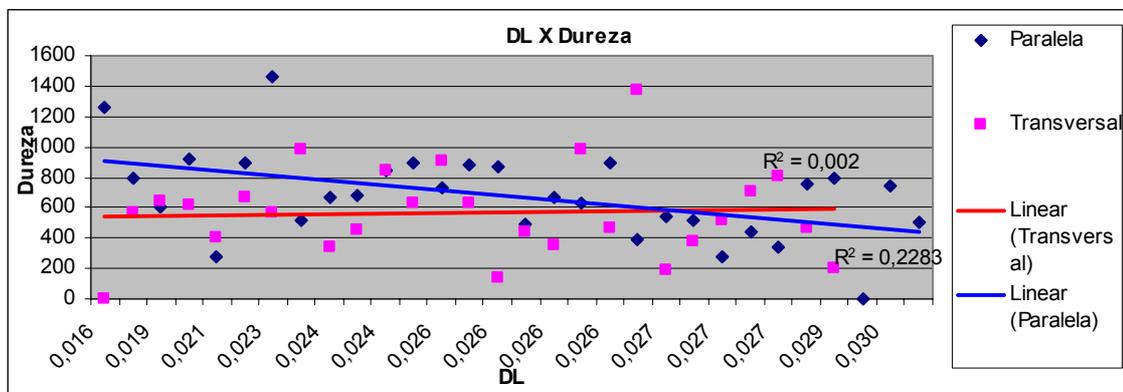


Figura 1. Decaimento logarítmico x Dureza Janka (kgf).

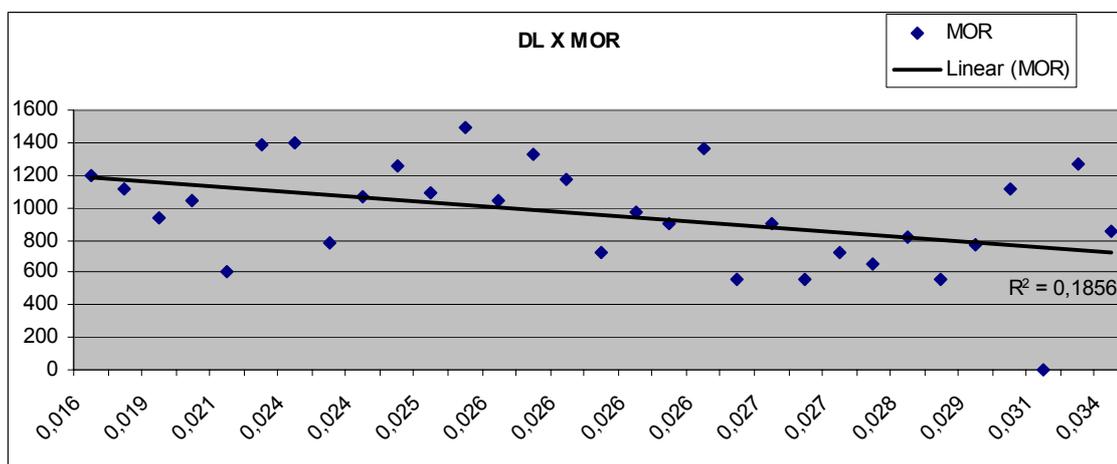


Figura 2. Decaimento logarítmico x Módulo de ruptura (kgf)

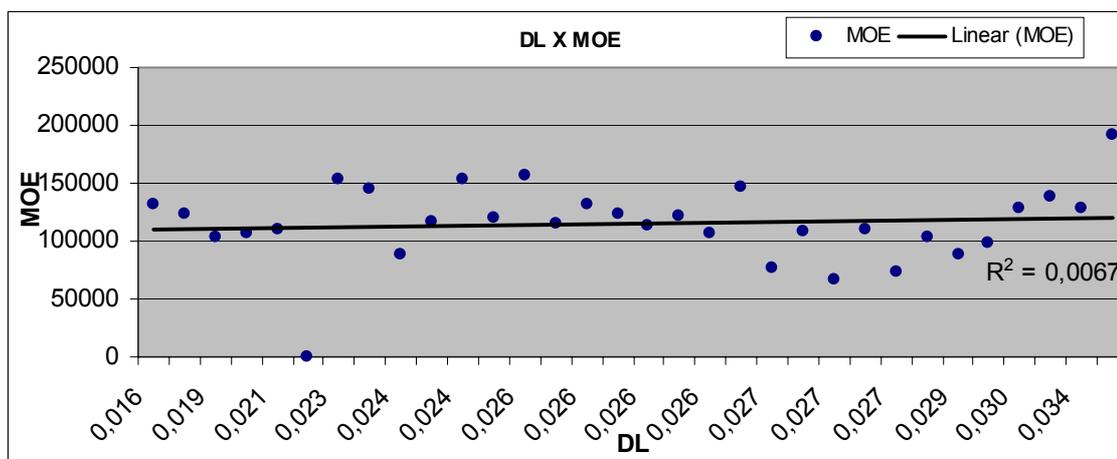


Figura 3. Decaimento logarítmico x Módulo de elasticidade (kgf)

Continuação ANEXO II

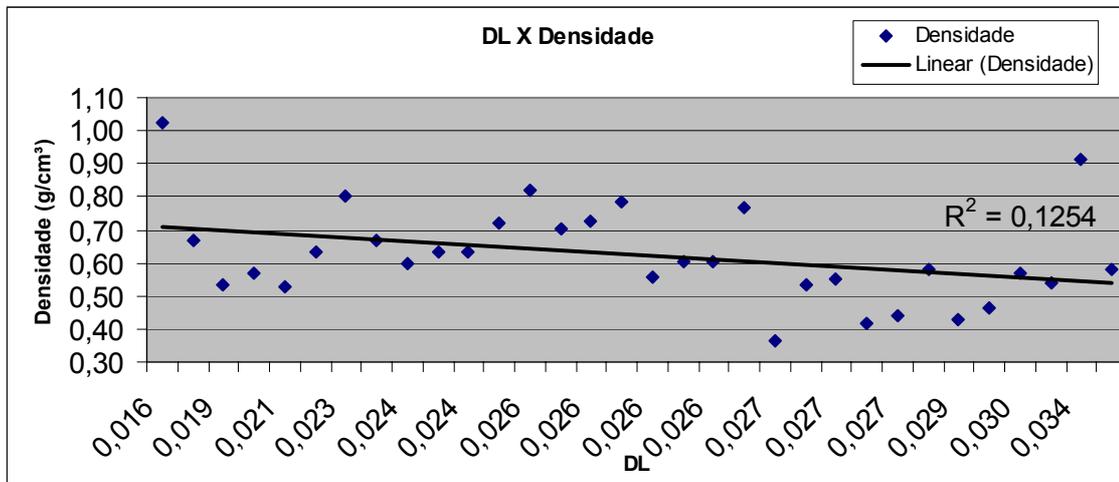


Figura 4. Decaimento logarítmico x Densidade (g/cm³).

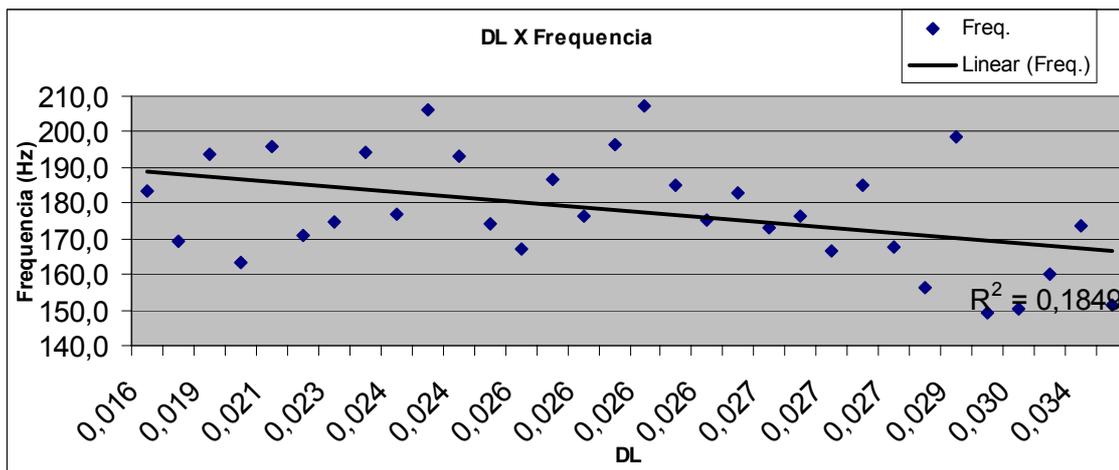


Figura 5. Decaimento logarítmico x Frequência (Hz).

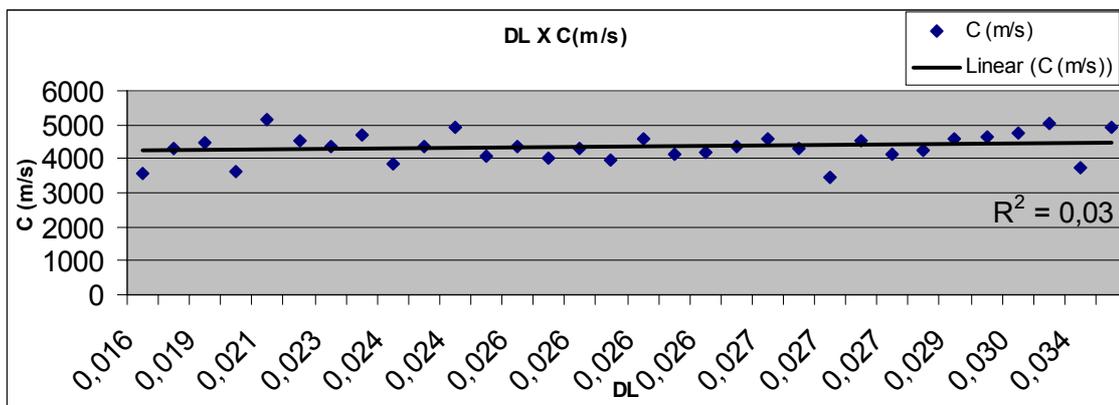


Figura 6. Decaimento logarítmico x Velocidade de propagação sonora – C(m/s).

Continuação ANEXO II

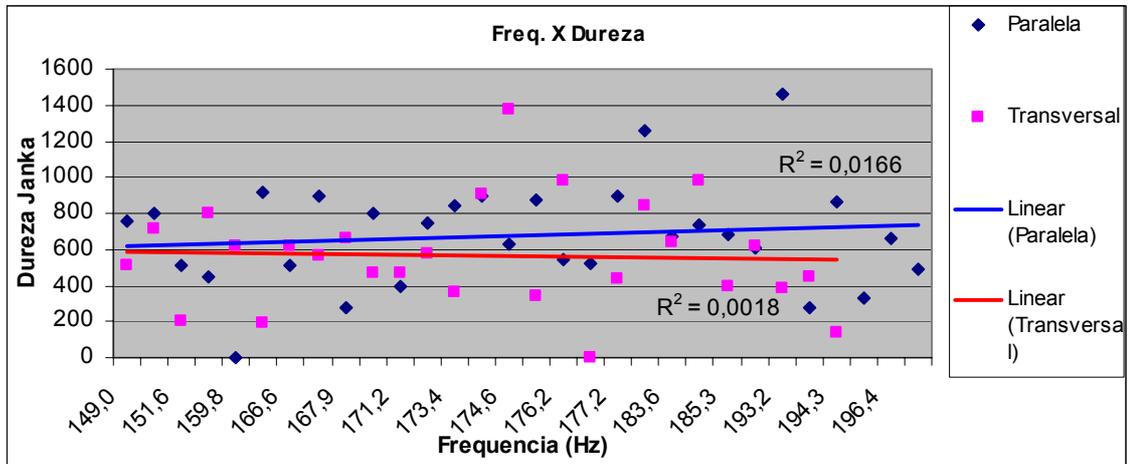


Figura 7. Frequência (Hz) x Dureza janka (kgf)

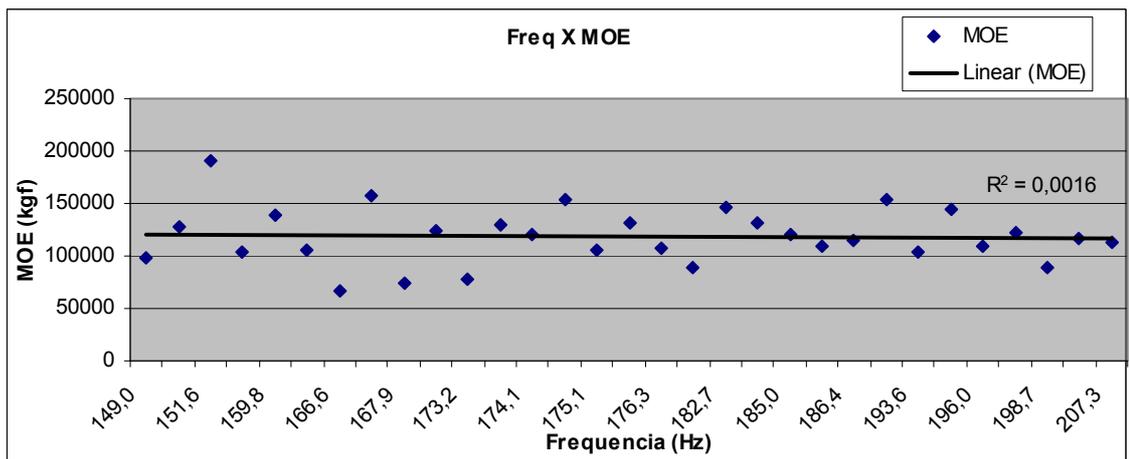


Figura 8. Frequência (Hz) x Dureza janka (kgf)

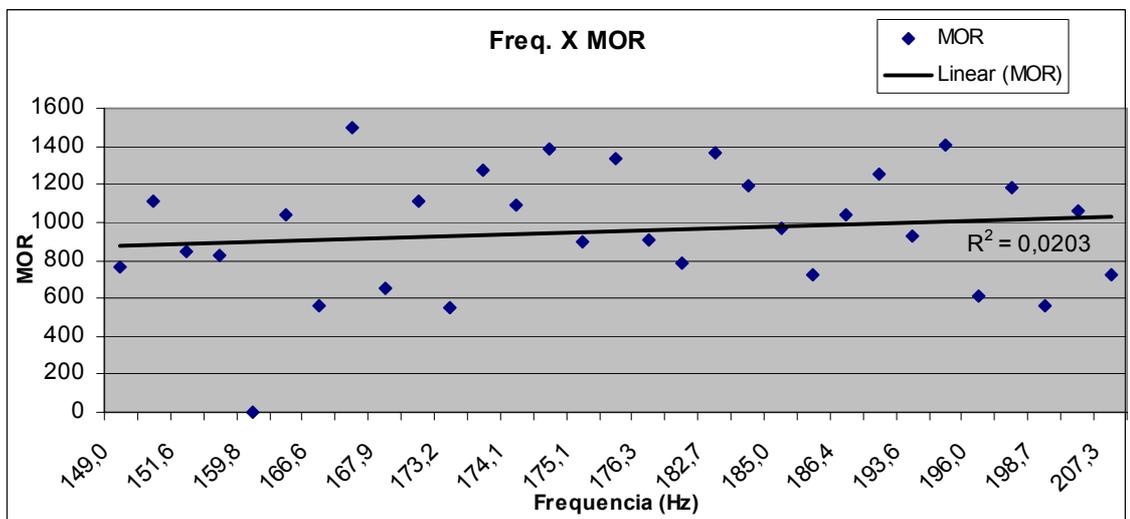


Figura 9. Frequência (Hz) x Módulo de ruptura (kgf).

Continuação ANEXO II

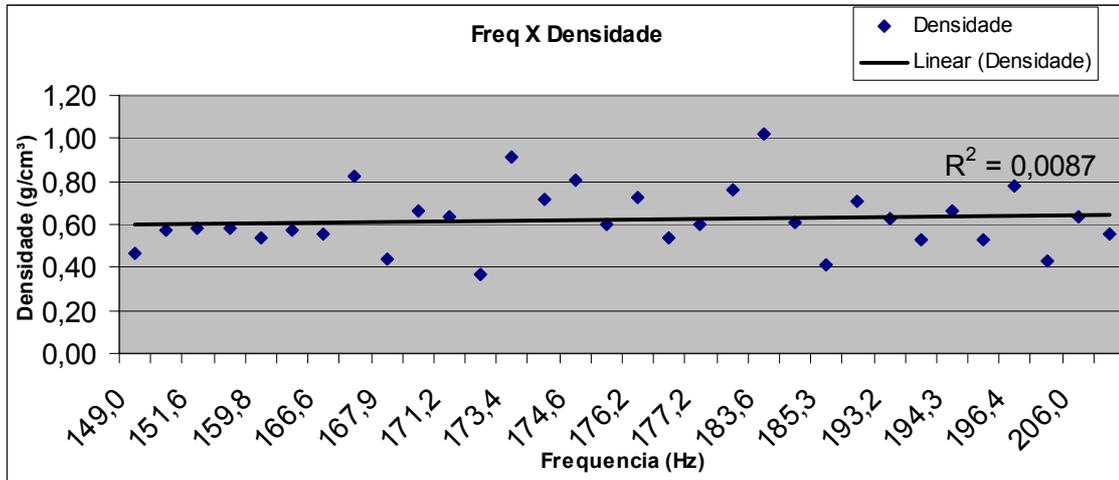


Figura 10. Frequência (Hz) x Densidade (g/cm³).

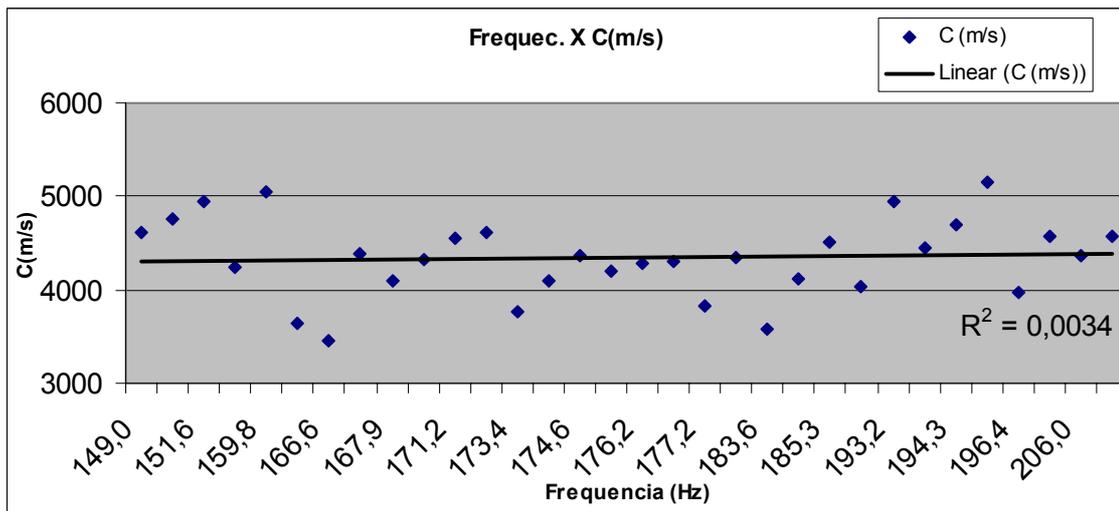


Figura 11. Frequência (Hz) x Velocidade de propagação – C (m/s).