



INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS
RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA
Laboratório de Produtos Florestais – LPF



PIBIC – Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica
CNPq/IBAMA

Relatório Final

PLANO DE TRABALHO: AVALIAÇÃO ACÚSTICA DAS NOVAS ESPÉCIES PARA UTILIZAÇÃO EM INSTRUMENTOS MUSICAIS

PROJETO: AVALIAÇÃO DE MADEIRA AMAZÔNICAS PARA UTILIZAÇÃO EM INSTRUMENTOS MUSICAIS

Orientando: Ricardo Faustino Teles

Curso: Engenharia Florestal

Instituição de Ensino: Universidade de Brasília – UnB

Orientador: Mário Rabelo de Souza

Unidade: Laboratório de Produtos Florestais – LPF

Período: agosto de 2004 a julho de 2005

Contatos:

Mário: 3316 1533 – mario.souza@ibama.gov.br

Ricardo: 3336 0091 – rfteles@gmail.com / rteles@unb.br

Funtec: www.funtec.org.br

Brasília, 15 julho de 2005.

INTRODUÇÃO

O Brasil, apesar de seu tamanho e magnitude de suas florestas, não se caracteriza como um grande produtor e exportador de instrumentos musicais. Isso se deve a um certo tradicionalismo por parte dos fabricantes e *luthiers* de instrumentos musicais que utilizam uma pequena quantidade de madeiras, as quais tem seu uso para partes específicas em cada instrumentos. Esse tradicionalismo junto com a escassez dessas poucas espécies tem onerado significativamente o valor dessas madeiras no mercado internacional, cotado em dólar, e, levando assim as indústrias e fabricantes em todo o país a uma busca por espécies alternativas. É comprovado que o mercado brasileiro de instrumentos musicais está em constante crescimento, tanto em consumo como em produção, levando assim a essa busca imediata (SOUZA, 1983; ANAFIM, 2003). Os fabricantes de instrumentos musicais se organizam em duas associações: a ANAFIM - Associação Nacional dos Pequenos e Médios Fabricantes de Instrumentos Musicais, com 39 associados e a ABEMÚSICA – Associação Brasileira da Música, com 65 fabricantes associados (ANAFIM, 2003).

Apesar de existir pouca produção de trabalhos científicos nessa área no Brasil, o Laboratório de Pesquisas Florestais (LPF) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo (IPT) foram pioneiros em classificar as espécies brasileiras para a utilização em instrumentos musicais. Entretanto, os trabalhos desenvolvidos estavam dentro de um pequeno universo (menos de 100 espécies) e hoje já são quase 300 espécies estudadas somente no LPF. Nos trabalhos feitos anteriormente, as propriedades físicas (densidade e contrações), mecânicas (módulos de elasticidade e ruptura) bem como caracteres gerais das madeiras (textura, grã e figura) limitavam o número de espécies estudadas. Eram apenas analisadas madeiras com grã regular, textura de média a fina e contração volumétrica abaixo de 15,9%.

O presente trabalho tem por objetivo estudar e avaliar acusticamente 59 espécies florestais para a utilização em instrumentos musicais.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Brasil possui a segunda maior cobertura vegetal do mundo e a mais importante floresta tropical do globo. Apesar dessa vasta diversidade, ele não se caracteriza como um grande exportador de instrumentos musicais. Isso se deve a utilização de espécies importadas, raras e bem conhecidas em todo o mundo, principalmente pelas suas excelentes propriedades físicas, mecânicas e acústicas e além de serem usadas a séculos por *luthiers* e fabricantes de instrumentos musicais. No Brasil, espécies como o jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra*) e o mogno (*Swietenia macrophylla*) são utilizadas em diversos tipos de instrumentos de corda, o pau-brasil (*Caesalpinia echinata*) utilizado em arcos de violinos apesar dessas espécies se apresentarem ameaçadas de extinção (ANAFIM, 2003; SOUZA, 1983).

Hoje existe no mercado brasileiro de instrumentos musicais uma procura por espécies alternativas às madeiras importadas, uma vez, que o avanço nos preços dessas madeiras, cotadas em dólar, tem efeito imediato no valor final do produto. Em estudos realizados por SOUZA (1983); SLOOTEN & SOUZA (1993);

FAGUNDES (2003); FERNADES (2004) e TELES (2004), ficou comprovado que as espécies amazônicas são aptas para a utilização em instrumentos musicais de qualidade.

MADEIRAS USADAS EM INSTRUMENTOS MUSICAIS

Segundo SOUZA, 1983; SLOOTEN, 1993; BUCUR, 1995; PEARSON, 1967 as madeiras mais utilizadas hoje na confecção de instrumentos musicais e suas partes principais são:

Violino, viola a violoncelo:

- tampo harmônico e barra harmônica: "European spruce" ("abeto" - *Picea abies*), "sitka spruce" (*Picea sitchensis*).
- fundo, faixas laterais, voluta, cabo e cavalete: "maple" ("acero" ou "atiro" - *Acer* sp.) ou "sycamore" (*Platanus occidentalis*).
- escala, botão e estandarte: "African ebony" (*Diospyros* spp.) ou "boxwood" (*Buxus sempervirens*).
- cravelhas: "African ebony" (*Diospyros* spp.), jacarandá-da-Bahia (*Dalbergia nigra*) ou "boxwood" (*Buxus sempervirens*).
- arco: pau-brasil, também chamada pernambuco (*Caesalpinia echinata*).

Piano:

- tábua harmônica: "European spruce" ("abeto" - *Picea abies*), "Canadian sitka spruce" (*Picea* sp.) e pinho brasileiro (*Araucaria augustifolia*). Esta última utilizada apenas no Brasil.
- mecanismos: "beech" (*Fagus sylvatica*), "Canadian rock maple" (*Acer* sp.) e pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*).

Clarinet a oboé:

- corpo do instrumento: "African blackwood" (*Dalbergia melanoxylon*).

Fagote a flauta:

- corpo do instrumento: "maple" (*Acer* sp.), "boxwood" (*Buxus sempervirens*), "sycamore" (*Platanus occidentalis*), jacarandá-da-Bahia (*Dalbergia nigra*).

Percussão:

- baqueta: "hickory" (*Carya* spp.), "maple" (*Acer* spp.), oak (*Quercus* spp.), bétula (*Betula* spp.), faia (*Fagus* spp.), ébano (*Dyospyros* spp.).
- baterias, conga e bongôs: maple (*Acer* sp.), mogno (*Swietenia macrophylla*), bubinga (*Guibourtia demeusei*), "ash" (*Fraxinus* sp.).

Empresas nacionais como a Liverpool já estão usando algumas madeiras amazônicas, como o ipê (*Tabebuia* sp.), e o jatobá como espécies alternativas ao "hickory".

PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS, CARACTERES GERAIS E TRABALHABILIDADE DA MADEIRA PARA INSTRUMENTOS MÚSICAIS

Sobre as propriedades ideais para as madeiras utilizadas em instrumentos musicais, citam-se (SOUZA, 1983; BUCUR, 1995):

Tampo harmônico a tábua harmônica:

Baixa massa específica, alto módulo de elasticidade, grã direita, boa trabalhabilidade, boa estabilidade dimensional, boa para colagem e bom acabamento final.

Fundo:

Não muito pesada, sem restrições quanto às propriedades mecânicas, boa trabalhabilidade, boa para colagem, bom acabamento a boa estabilidade dimensional.

Corpo de oboé a clarineta:

Boa estabilidade dimensional, textura fina, grã direita, bom peso, bom acabamento, fácil de furar a toronar e, preferencialmente de cor negra.

Corpo de flauta a fagote:

Não muito pesada, textura fina, boa estabilidade dimensional, grã direita, bom acabamento, fácil de furar e toronar.

Arco para violino:

Alto módulo de elasticidade em flexão (acima de 200.000 kgf/cm²), grã direita, textura fina, alta resistência à ruptura em flexão.

Detalhe importante deve ser observado quanto ao fundo dos instrumentos de corda, pois este, apesar de não exigir madeiras com propriedades muito especiais, exige que sua frequência natural de vibração esteja entre meio a um tom acima, em relação ao tampo. Para atender a esta característica, deve-se observar não só a madeira, mas também as suas dimensões, pois a frequência natural de uma placa de vibração é função das propriedades da mesma e de suas dimensões.

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 se determinar a frequência natural de vibração (f_r) e o decaimento logarítmico (DL). Segundo HEARMON (1968), ele funciona da seguinte maneira: a amostra é suportada por um fio ou linha nos seus pontos nodais, e têm pequenas chapas de metal ferroso fixadas nas suas extremidades. Próximos às chapas ficam dois transdutores, 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.

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

onde, f_r é a frequência de ressonância e Δf 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 se definiu um parâmetro que chamou de resistência à onda sonora (W), e que, quanto menor, melhor será a qualidade acústica do material.

$$W = \partial * v = \partial \frac{\sqrt{E}}{\partial} = \sqrt{\partial E}$$

onde, W = resistência à propagação sonora, ∂ = 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, comparam-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.

MATERIAL E MÉTODOS

ESTUDO DE MERCADO

O estudo de mercado foi feito baseado no relatório produzido pela Associação Nacional dos Pequenos e Médios Fabricantes de Instrumentos Musicais – ANAFIM, no ano de 2003 e através do site da Abemusica (<http://www.abemusica.com.br/estatistica.asp>). Foi feita também uma visita à 21ª Feira Internacional da Música realizada no Expo Center Norte – São Paulo de 15 – 19 de setembro de 2004, na qual se pode ter contato com fabricantes nacionais de instrumentos musicais.

ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS PARA OS INSTRUMENTOS MÚSICAIS

As características dos instrumentos, bem como as madeiras utilizadas, foram analisadas a partir de trabalhos já publicados, páginas da Internet dos principais fabricantes mundiais, catálogos e informações obtidas através de contatos diretos com fabricantes nacionais. Foi feita uma análise das principais partes de madeiras utilizadas nos instrumentos e suas características diretas com as propriedades físicas e acústicas.

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.

IDENTIFICAÇÃO E COMPRA DAS MADEIRAS

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, tinham 30 cm de largura por 5 cm de espessura e 2 metros de comprimento. Foram secas ao ar e acondicionadas a 12%.

TESTE ACÚSTICO

Os testes acústicos foram realizados no Laboratório de Produtos Florestais (LPF) e o método de vibração forçada, proposto por Heramon (1968), foi o utilizado para se determinar a frequência natural de vibração (f_r) e o decaimento logarítmico (DL) de 49 espécies madeireiras.

Para a realização do teste acústico foi utilizado um aparelho composto de um sensor e um excitador, ambos eletromagnéticos, em cada uma de suas extremidades. O excitador emitia uma onda sonora senoidal em forma de sinal progressivo em um intervalo de 120 a 240 Hz durante um intervalo de 150 segundos, com amplitude constante e uma variação na frequência de 0,01Hz, a qual era gerada com o auxílio do software Cool Edit Pro II. O sensor recebia a vibração transmitida através das amostras de madeiras (dimensões 30 x 2 x 0,3 cm – Figura 1). No software, a onda obtida pela ressonância da amostra com o sinal, era

registrada em um dos canais de gravação de áudio do programa. Utilizaram-se dois suportes de fios de algodão que ficaram posicionados a 10 cm das extremidades de forma que a harmônica fundamental da madeira fosse captada. Todo o sistema era controlado por um microcomputador PC AMD Duron 1400 com 256 MB de memória RAM. A Figura 2 ilustra o esquema do equipamento utilizado. O volume de captação e altura do captador foi mantido constante para todas as amostras.

O teste possui um funcionamento simples: o excitador, ao emitir o sinal, faz com que a amostra de madeira vibre a uma frequência progressiva e, quando a frequência do sinal se iguala à frequência de ressonância da madeira, a amostra entra em ressonância. Com isso o detector capta a frequência de ressonância da amostra e gera um gráfico com o pico de ressonância característico de cada madeira (Figuras 3 e 4).

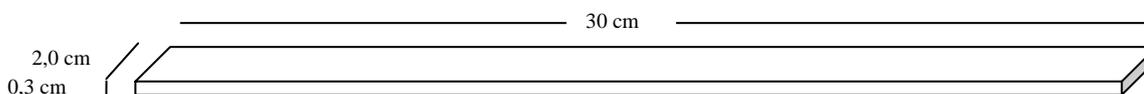


Figura 1. Medidas das chapas de madeiras.

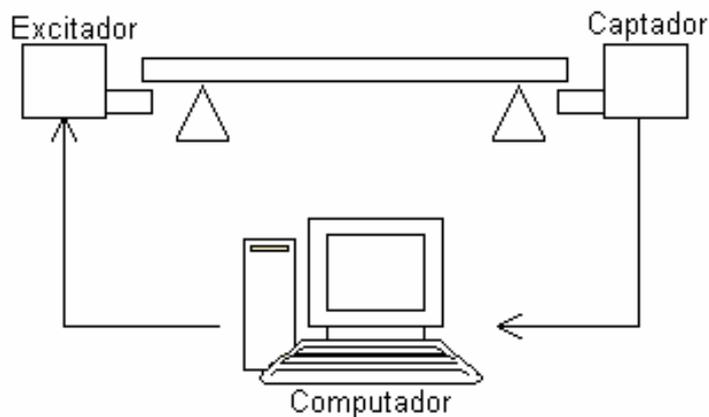


Figura 2. Esquema do equipamento utilizado.

CLASSIFICAÇÃO PARA INSTRUMENTOS MUSICAIS

Madeiras para instrumentos de corda

A classificação de madeiras para violões obedeceu aos mesmos critérios utilizados por TELES (2004). As madeiras classificadas para guitarras elétricas de corpo sólido seguiram os critérios utilizados por FERNANDES (2004), acrescentando apenas características necessárias para o uso em contrabaixos. A seleção das

madeiras para clarinetas e oboés baseou-se na comparação com a “african blackwood” (*Dalbergia melanoxylon*).

Madeiras para gaitas

A seleção de madeiras para gaitas diatônicas seguiu o critério da tração perpendicular às fibras acima de 30 kgf/cm². Essa característica evita que os dentes (pinos) dos corpos das gaitas quebrem durante a usinagem. As espécies que não possuíam dados de tração perpendicular às fibras foram classificadas com base em suas grãs. Madeiras com grã cruzada, reversa, oblíqua, entrecruzada, direita a reversa, direita a cruzada e direita a ondulada entraram nessa seleção. A trabalhabilidade é uma característica importante para a fabricação do corpo do instrumento, sendo necessário corta e furar bem, sem dificuldades. Como a grã não foi fator de exclusão ficou garantido que espécies excluídas em outras classificações para instrumentos pudessem ser incluídas.

Madeiras para instrumentos de sopro

Para clarineta foram selecionadas as espécies que apresentaram alta massa específica, acima de 0,75 kgf/cm², grã direita, textura de média a fina, cor escura, com bom acabamento, excelente torneamento, furação e perfuração, e estabilidade dimensional. Para flautas e fagotes a seleção foi baseada na comparação com o “maple”. Foram selecionadas inicialmente espécies que possuíam grã direita e textura fina.

Madeiras para percussão: baterias, conga e bongôs

A seleção das madeiras para percussão foi baseada na comparação com o “maple” e o mogno. Foram selecionadas madeiras com massa específica acima de 0,32 kgf/cm², decaimento logarítmico abaixo de 0,030, frequência natural de vibração sonora abaixo de 180 Hz e velocidade de propagação sonora acima de 4000 m/s.

Madeiras para baquetas

As madeiras para baquetas foram selecionadas comparando-se com hickory. Foram selecionadas as que possuíam massa específica acima de 0,62 kgf/cm², resistência ao impacto acima de 1500 mm, grã direita a ondulada, textura de média a fina, possuir bom torneamento e acabamento, e ter aparência uniforme.

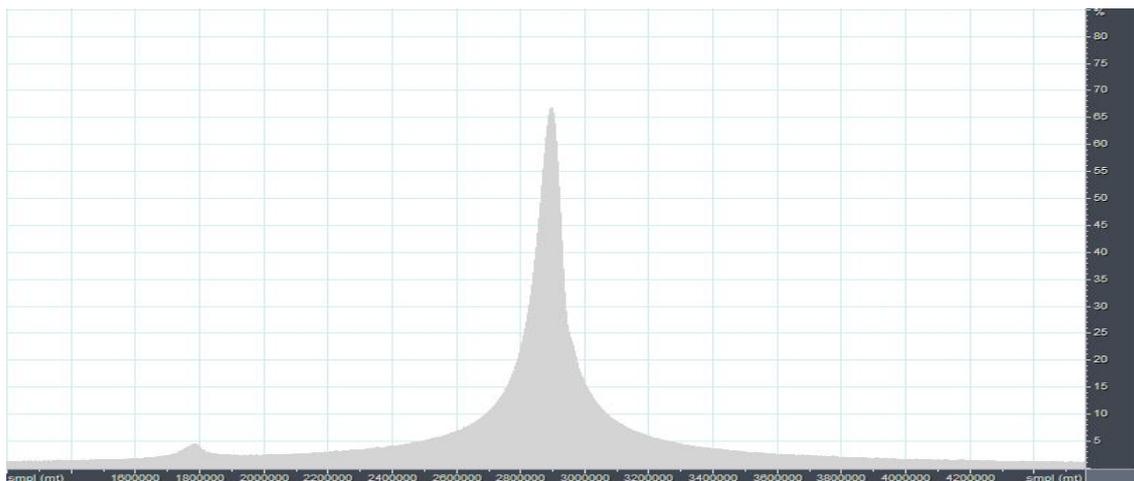


Figura 3. Pico de ressonância da amostra de macacaúba.

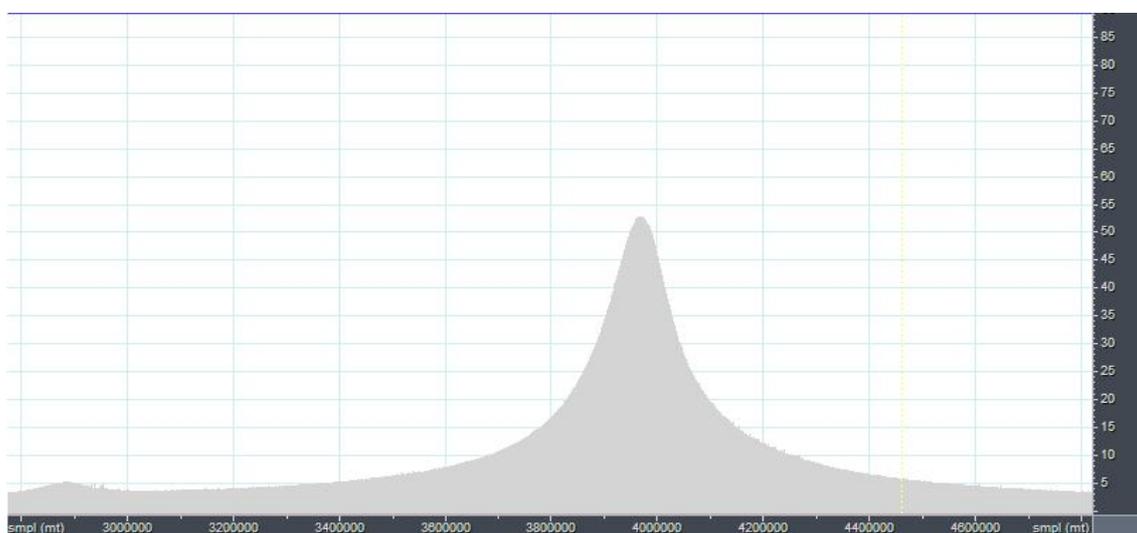


Figura 4. Pico de ressonância da amostra de ucuúba-da-terra-firme.

RESULTADO E DISCUSSÃO

ESTUDO DE MERCADO

Segundo a Abemusica (2005) o mercado de instrumentos musicais tem participação inexpressiva no processo de exportação nacional. Entretanto, o setor está em constate crescimento, uma vez que houve um aumento de 28% das exportações com relação ao ano de 2003 a 2004. Na área de importação houve um aumento de 25% de 2003 para o de 2004. Segundo a ANAFIM (2003) O faturamento do setor música em 2002 é estimado em RS 318 milhões, com crescimento de 6% em relação ao ano anterior. Este setor possuía cerca de quatro mil postos de trabalho nos anos de 2001 e 2000.

A indústria de instrumentos musicais, áudio, iluminação e acessórios está concentrada basicamente na região Sudeste. O interior do estado de São Paulo é o principal centro produtor, seguido pelo Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo,

Bahia e Pernambuco. O Estado de São Paulo representa 58% do mercado da música e a região Sul cerca de 19% (ANAFIM, 2003).

O Quadro 1 apresenta composição da indústria de instrumentos musicais, equipamentos de som e acessórios do Brasil.

Quadro 1. Composição da Indústria de Instrumentos Musicais, Equipamentos de Som e Acessórios do Brasil.

Segmentos		Instrumentos
Instrumentos musicais	Sopro	Barítonos, bombardões, clarinetas, cornetas, <i>euphonium</i> , flautas, <i>flugehorn</i> , melofones, pios, saxofones, <i>saxhorn</i> , trompetes, trombones, trompas e tubas.
	Cordas	Bandolins, banjos, cavaquinhos, contrabaixos, guitarras, harpas, violas, violinos, violões e violoncelos.
	Teclados	Cravos, pianolas, pianos e teclados.
	Percussão	Agogôs, baterias, caixas, castanholas, chocalhos, cuícas, maracás, pandeiros, pratos, reco-recos, surdos, tambores, tamborins e xilofones.
	Fole	Acordeom, acordeom cromático, bandônion, gaitas e sanfonas e suas variações (gaita escocesa, a concertina e as harmônicas).
Acessórios e partes dos instrumentos		Arcos de violino, cordas, afinadores, tarraxas para instrumentos de corda, capas para teclados, capas em geral, estojos e peles para instrumentos de percussão.
Equipamentos de som (áudio), iluminação e afins		Amplificadores, cabos, caixas acústicas, estantes para suporte de instrumentos musicais microfones, microfones para instrumentos artísticos, pedais, pedestais para microfones, processadores de som, suportes para partituras e tripés para microfones.

Fonte: ANAFIM, 2003.

Segundo Abemusica (2005); ANAFIM (2003), a região sudeste é a que mais comporta as empresas de instrumentos musicais com mais de 65% de indústrias e fabricantes, seguido pela região sul, logo após a região nordeste e por fim a região centro-oeste. A Tabela 1 mostra o número de estabelecimentos e postos de trabalho da indústria de instrumentos musicais no país.

Tabela 1. Estabelecimentos e postos de trabalho da indústria de instrumentos musicais.

Região	Número de empregos		Número de estabelecimentos	
	Número	Porcentagem	Número	Porcentagem
Centro-oeste	4	0,2%	1	1,1%
Nordeste	16	0,8%	3	3,3%
Sudeste	1886	90,9%	71	78,0%
Sul	168	8,1%	16	17,6%
Total	2074	100,0	91	100,0

Fonte: ANAFIM, 2003; RAID, 2000.

No segmento de sopro de metal destaca-se a tradicional empresa Weril, única fabricante brasileira, localizada em Franco da Rocha, SP, que planejava produzir a partir do ano de 1998 cerca de 32 mil instrumentos de sopro e percussão. Esta empresa após três tentativas de exportações na Feira Internacional de Frankfurt, Alemanha, percebeu a necessidade de investir em tecnologia e adoção de processos modernos de produção e gestão. Hoje é a principal exportadora de instrumentos musicais e mantém um depósito nos Estados Unidos, país no qual possui uma parceria com a *DEG Music Products*. Seus principais mercados são os Estados Unidos e a Alemanha.

Em Santa Catarina, na cidade de Blumenau, localiza-se a octogenária Harmônica Catarinense (antiga Hering de 1923). Esta é uma das quatro principais fábricas de gaitas no mundo, sendo a alemã *Hohner* a mais antiga (1857). Exporta mais de 40% da sua produção de gaitas para os Estados Unidos, Europa e América do Sul e possui acordos comerciais com empresas japonesas e norte-americanas.

Na área de pianos a empresa Fritz Dobbert é única na América Latina, embora suas exportações não passem de 2% de seu faturamento. A empresa *Di Georgio* é a mais expressiva na área de produção de violões no país comercializa 77 mil instrumentos por ano sendo que 700 desses são exportados por mês. Os violões correspondem a 70% dos instrumentos comercializados em lojas de instrumentos musicais.

No Brasil a empresa mais expressiva no ramo de instrumentos musicais é Giannini, com fábrica localizada no estado de São Paulo. A empresa foi pioneira na fabricação de instrumentos musicais acústicos no país e hoje é líder de mercado.

Com a visita feita à 21ª Feira Internacional da Música – EXPOMUSIC foi possível verificar que alguns fabricantes de instrumentos musicais já estão aderindo à utilização de madeiras alternativas para confecção de seus instrumentos e partes dos instrumentos. A empresa de guitarras e violões Tagima já utiliza o marupá em corpos de guitarras, substituindo assim o “ash” e o “maple”. Já a empresa Nhureson, que produz violinos e violoncelos já testou o ipê para produção de arcos, obtendo excelentes resultados, e também o ipê-roxo e o amarelo, marupá, araucária e a grevilha em tampos e laterais resultando em instrumentos de boa qualidade. Já a empresa de baquetas Liverpool já utiliza o ipê, abiu e o jatobá em escala comercial e pretende testar o freijó e o roxinho. A empresa Fox foi a que apresentou uma maior quantidade de testes em instrumentos com madeiras alternativas. A empresa já utiliza o marupá e a imbuia para tampos de violões e corpos de instrumentos de

corda. Utiliza braúna, ipê-preto e gombeira e afirma ter obtido excelentes resultados, principalmente com relação à trabalhabilidade das madeiras.

ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS PARA OS INSTRUMENTOS MÚSICAIS

As principais características das madeiras para utilização em instrumentos musicais segundo SOUZA (1983); BUCUR (1995); SLOOTEN (1993); TELES (2004); FAGUNDES (2003); FERNANDES (2004) e PEARSON, (1967) são:

Violões, violas, cavacos e guitarras elétricas

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 como o *spruce* (*Picea abies*) e o cedro-do-oregon (*Thuja plicata*), com massa específica variando de 0,45 e 0,55 g/cm³, grã direita, boa trabalhabilidade, boa estabilidade dimensional, boa para colagem e com bom acabamento final, frequência acima de 150 hz, decaimento logaritmico abaixo de 0,026 e velocidade de propagação sonora acima de 4.100 m/s. Para o fundo e laterais a madeira não pode ser muito pesada, com massa específica variando de 0,55 a 0,92 g/cm³, sem restrições quanto às propriedades mecânicas, boa trabalhabilidade, boa para colagem, bom acabamento e boa estabilidade dimensional, frequência abaixo de 180 hz, decaimento logaritmico abaixo de 0,030 e velocidade de propagação sonora abaixo de 4600 m/s. Para o uso em braços utilizam-se madeiras com boa estabilidade dimensional, massa específica variando de 0,46 a 0,70 g/cm³, MOE entre 66.000 a 153.000 Kgf/cm² e grã regular. Para a escala utilizam-se madeiras com características semelhantes ao do ébano (*Diospyros spp.*), ou seja, com MOE acima de 130000 kg/cm², massa específica acima de 0,68 g/cm³, grã direita, textura fina e de preferência de cores escuras.

Para guitarras elétricas de corpo sólido utilizam-se madeiras de massa específica mais baixa, variando de 0,37 a 0,63 g/cm³, grã direita e a textura de média a fina. No braço utilizam-se madeiras com massa específica variando de 0,46 a 0,63 g/cm³. MOE entre 66.000 a 153.000 Kgf/cm², dureza entre 343 a 817 kgf, velocidade de propagação sonora entre 3.456 a 5.053 m/s e grã regular. Para a escala utilizam-se madeiras com alto módulo de elasticidade e alta massa específica, sendo que em guitarras pode-se usar tanto madeiras claras como madeiras escuras.

Corpo de instrumentos de sopro: Clarineta, oboés, flautas e fagotes

Para instrumentos de sopro, com exceção ao fagote, as madeiras necessitam de excelente estabilidade dimensional, textura relativamente fina, grã direita, peso específica acima de 0,90 g/cm³, acabamento variando de bom a excelente, fácil de furar, perfurar e toronar e, preferencialmente de cor negra. No caso do fagote a madeira não pode ser muito pesada (abaixo de 0,70 g/cm³).

Arco para violino:

Alto módulo de elasticidade em flexão (acima de 200.000 kgf/cm²), grã direita, textura fina, alta resistência à ruptura em flexão.

Gaitas diatônicas:

A madeira deve possuir boa resistência à tração perpendicular às fibras (acima de 30 Kgf/cm²). Este requisito irá garantir que os pinos do pente não irão se quebrar durante a usinagem. Em geral as espécies com grã irregular (cruzada) possuem essa propriedade. A madeira deve ter boas características de usinabilidade, como, cortar bem e furar sem dificuldades.

Baquetas:

Para baquetas o estudo foi feito por comparação com o *hickory* (*Carya* spp.). A densidade deve variar em torno de 0,75 g/cm³, grã direita, resistência ao impacto acima de 1.600 mm, madeira com aparência uniforme, fácil para secar e boa para torneiar.

Percussão: Baterias, Conga e Bongôs

As madeiras mais utilizadas em percussão são o maple (*Acer* sp.) e o mogno (*Swietenia macrophylla*). Com isso as principais características são: massa específica acima de 0,50 g/cm³, decaimento logarítmico abaixo de 0,030, frequência de ressonância acima de 150 Hz e velocidade de propagação sonora acima de 4.000m/s.

LEVANTAMENTO DAS ESPÉCIES JÁ ESTUDADAS PELO LPF

Todas as espécies estudadas pelo LPF foram levantadas, chegando a um número de 273 espécies, entretanto 36 delas eram repetidas, totalizando assim 237 espécies. Diferentemente dos trabalhos desenvolvidos por TELES (2004); FERNANDES (2004) e SLOOTEN & SOUZA (1993), os quais excluía madeiras com textura de média a grossa, contração volumétrica acima de 15,9% e grãs que não fossem direitas, o presente trabalho selecionou tanto espécies selecionadas por esses critérios como outras que estariam fora dessa seleção.

As espécies selecionadas para os testes acústicos estão listadas na Tabela 2. Foram coletadas 29 espécies provenientes da Floresta Nacional dos Tapajós no estado do Pará, 29 espécies provenientes de Manaus; e 3 espécies tradicionais utilizadas em instrumentos musicais utilizadas para estudo comparativo. As madeiras foram secas ao ar e acondicionadas, posteriormente, a 12% em sala climatizada. A maior parte das amostras possuía corte radial. Entretanto foram utilizadas algumas amostras com corte tangencial para estudo de diferenças de características acústicas em diferentes cortes na mesma espécie. Dentre as espécies selecionadas somente as espécies que possuíam os dados de propriedades físicas, mecânicas e acústicas foram mantidas, totalizando assim 52 espécies, sendo o amapá (*Chrysophyllum* sp.) mantido por possuir excelentes características acústicas e anatômicas. As espécies amarelão/garapa (*Apuleia leiocarpa*), andiroba (*Carapa guianensis*) e muiracatiara (*Astronium lecointei*) possuíam indivíduos provenientes de mais de uma região apresentando propriedades acústicas distintas, sendo assim, mantidos.

Tabela 2. Espécies selecionadas para o projeto.

	NOME COMUM	NOME CIENTÍFICO	FAMÍLIA	LOCALIZAÇÃO
1	Açoita-cavalo	<i>Lueheopsis duckeana</i> Burret	Tiliaceae	Manaus
2	Amapá	<i>Chrysophyllum</i> sp.	Sapotaceae	Tapajós
3	Amapá doce	<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	Moraceae	Manaus
4	Amarelão / Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	Leguminosae- Caesalpinioideae	Tapajós
5	Amarelão / Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	Leguminosae- Caesalpinioideae	Tapajós
6	Amescla	<i>Trattinnickia burseraefolia</i> (Mart.) Willd.	Burseraceae	Tapajós
7	Anani	<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	Guttiferae	Tapajós
8	Andiroba	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Meliaceae	Tapajós
9	Andiroba	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Meliaceae	Tapajós
10	Angelim-pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	Leguminosae- Papilionoideae	Tapajós
11	Cedrinho	<i>Erisma uncinatum</i> Warm.	Vochysiaceae	Tapajós
12	Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	Manaus
13	Cerejeira	<i>Amburana acreana</i> (Ducke) A.C.Sm.	Leguminosae- Papilionoideae	Manaus
14	Copaíba	<i>Copaifera reticulata</i> Ducke	Leguminosae- Caesalpinioideae	Manaus
15	Cuiarana / Mirindiba	<i>Buchenavia grandis</i> Ducke	Combretaceae	Tapajós
16	Cumarú	<i>Dipteryx polyphylla</i> Huber	Leguminosae- Papilionoideae	Tapajós
17	Envira preta	<i>Onychopetalum amazonicum</i> R.E.Fr	Annonaceae	Manaus
18	Faeira	<i>Roupala montana</i> Aubl.	Proteaceae	Tapajós
19	Fava-amargosa	<i>Vatairea</i> cf. <i>paraensis</i>	Leguminosae- Papilionoideae	Tapajós
20	Fava-arara tucupi	<i>Parkia paraensis</i> Ducke	Leguminosae- Mimosoideae	Tapajós
21	Faveira-de-folha-fina	<i>Piptadenia suaveolens</i> Miq.	Leguminosae- Mimosoideae	Manaus
22	Freijó verdadeiro	<i>Cordia goeldiana</i> Huber	Boraginaceae	Tapajós
23	Gombeira	<i>Swartzia leptopetala</i> Benth.	Leguminosae- Papilionoideae	Tapajós
24	Grumixava	<i>Micropholis venulosa</i> (Mart. & Eichler) Pierre	Sapotaceae	Manaus
25	Guariúba/ Oiticica amarela	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	Moraceae	Tapajós
26	Ipê	<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) Nichols.	Bignoniaceae	Tapajós
27	Itaúba-amarela	<i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. ex Mez	Lauraceae	Tapajós
28	Jacarandá	<i>Dalbergia spruceana</i> Benth.	Leguminosae- Papilionoideae	Manaus
29	Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Leguminosae- Caesalpinioideae	Tapajós
30	Jequitibá-cedro (35)	<i>Allantoma lineata</i> (Mart. ex O.Berg) Miers	Lecythidaceae	Manaus
31	Louro-vermelho	<i>Ocotea rubra</i> Mez	Lauraceae	Tapajós
32	Macacaúba	<i>Platymiscium ulei</i> Harms	Leguminosae- Papilionoideae	Manaus
33	Maçaranduba	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier	Sapotaceae	Tapajós
34	Mandioqueira	<i>Qualea paraensis</i> Ducke	Vochysiaceae	Tapajós
35	Marupá	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Simaroubaceae	Manaus

36	Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i> King	Meliaceae	Manaus
37	Morototó	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch	Araliaceae	Manaus
38	Muiracatiara	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Anacardiaceae	Tapajós
39	Muiracatiara	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Anacardiaceae	Manaus
40	Munguba gr terra firme	<i>Eriotheca longipedicellata</i> (Ducke) A.Robyns	Bombacaceae	Manaus
41	Mururé	<i>Brosimum acutifolium</i> Huber	Moraceae	Manaus
42	Pará-Pará	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	Bignoniaceae	Manaus
43	Pequiarana	<i>Caryocar glabrum</i> (Aubl.) Pers.	Caryocaraceae	Tapajós
44	Quaruba-rosa	<i>Vochysia maxima</i> Ducke	Vochysiaceae	Tapajós
45	Tanibuca	<i>Terminalia amazonica</i> (J.F.Gmel) Exell.	Combretaceae	Tapajós
46	Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	Moraceae	Tapajós
47	Tauari-amarelo	<i>Couratari oblongifolia</i> Ducke & R.Knuth	Lecythidaceae	Manaus
48	Tauari-branco	<i>Couratari guianensis</i> Aubl	Lecythidaceae	Manaus
49	Tauari-rosa	<i>Couratari stellata</i> A.C.Sm.	Lecythidaceae	Manaus
50	Taxi preto folha grande	<i>Tachigali myrmecophila</i> Ducke	Leguminosae- Caesalpinioideae	Manaus
51	Ucuúba-da-terra-firme	<i>Virola cf. michelli</i>	Myristicaceae	Tapajós
52	Urucu da mata	<i>Bixa arborea</i> Huber	Bixaceae	Manaus
53	Maple (átiro)	<i>Acer</i> sp.	Aceraceae	Exterior
54	Pinho de riga	<i>Pinus sylvestris</i> L.	Pinaceae	Exterior
55	Spruce/ abeto pinho sueco	<i>Picea abies</i> (L.) Karst.	Pinaceae	Exterior

As propriedades físicas e mecânicas das espécies selecionadas estão presentes na Tabela 3. A Tabela 4 apresenta os dados de trabalhabilidade, tração e resistência ao impacto. Os dados de caracteres gerais e anatômicos das espécies selecionadas estão presentes no Anexo I.

Tabela 3. Propriedades físicas e mecânicas das espécies selecionadas.

Nome comum	Propriedades Físicas					Propriedades Mecânicas			
	Massa específica (g/cm ³)	Contração (%)				Flexão estática (kgf/cm ²)		Dureza janka seca (kgf)	
		RADIAL	TANG	VOL	T/R	MOR	MOE	PAR	TRANS
Açoita-cavalo	0,64	4,7	9,3	13,7	1,98	1271	138000	973	817
Amapá	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amapá-doce	0,57	4,5	7,7	12,6	1,71	1043	115000	734	567
Amarelão / Garapa	0,83	4,4	8,5	14,0	1,93	1278	143850		
Amescla	0,44	5,1	7,2	11,8	1,41	654	112000	470	316
Anani	0,58	4,5	7,9	13,2	1,76	1114	140000	680	571
Andiroba	0,59	4,4	8,1	12,6	1,84	1093	120000	841	640
Angelim-pedra	0,59	4,1	6,3	10,1	1,54	1115	118000	781	590
Cedrinho	0,46	3,6	8,7	12,9	2,42	892	110000	590	394
Cedro	0,53	4,0	6,2	11,6	1,55	768	99000	762	623
Cerejeira	0,47	2,9	5,4	8,2	1,85	785	88000	520	399
Copaíba	0,62	4,1	8,2	12,5	2,00	1179	123000	867	664
Cuiarana / Mirindiba	0,72	4,7	7,4	12,2	1,58	976	107000	1352	1094
Cumarú	0,83	6,0	7,0	13,1	1,16	1485	148000	1188	1233

Envira-preta	0,64	3,9	8,7	12,7	2,23	1265	140000	822	695
Faeira	0,77	6,3	12,3	18,0	1,95	1614	173000	976	984
Fava-amargosa	0,78	4,8	9,8	14,0	2,04	1513	153000	934	986
Fava-arara tucupi	0,44	3,5	7,6	11,9	2,17	750	117000	399	337
Faveira-de-folha-fina	0,77	4,5	7,8	12,7	1,73	1285	134000	785	733
Freijó-verdadeiro	0,48	4,1	6,6	10,6	1,61	932	104000	608	452
Gombeira	0,83	5,8	10,5	17,1	1,81				
Grumixava	0,67	4,7	9,7	14,0	2,06		142000	1018	780
Guariúba/ Oiticica amarela	0,60	3,1	6,2	10,0	2,00	1110	124000	799	624
Ipê	0,89	4,7	6,3	10,1	1,34	1726	131000	1480	1406
Itaúba-amarela	0,68	3,0	6,8	10,1	2,27	1113	108000	532	554
Jacarandá	0,92	4,2	8,1	12,7	1,93	1193**			
Jatobá	0,76	3,4	7,7	11,4	2,26	1399	159000	1253	1116
Jequitibá-cedro	0,53	3,0	5,7	9,8	1,90	1171	130000	504	523
Louro-vermelho	0,55	3,2	7,9	11,2	2,47	794	109000	342	343
Macacaúba	0,74	2,6	4,6	6,6	1,77	1039	106000	911	914
Maçaranduba	0,89	6,7	9,4	15,0	1,40	1729	142000	1532	1464
Mandioqueira	0,66	6,0	11,4	18,1	1,89	1190	128000	830	709
Marupá	0,38	2,6	5,9	8,8	2,27	664	82000	439	267
Mogno	0,52	2,9	4,7	7,2	1,62	562	66000	435	517
Morototó	0,41	6,7	9,1	15,7	1,36	725	113000	489	358
Muiracatiara	0,79	4,6	7,6	11,9	1,65	1391	153000	891	978
Munguba-gr-terra-firme	0,45	4,5	9,8	14,9	2,18	895	106000	630	469
Mururé	0,67	5,0	9,1	14,1	1,82	1402	145000	1463	1377
Pará-Pará	0,31	5,4	8,2	13,9	1,52	562	89000	336	192
Pequiarana	0,61	3,9	8,7	11,8	2,23	806	141000	817	745
Quaruba-rosa	0,49	4,0	8,8	12,1	2,20	930	114000	560	481
Tanibuca	0,80	5,2	7,8	12,8	1,50	1489	143000	1166	1014
Tatajuba	0,70	4,1	5,8	9,5	1,41	1269	118000	1007	753
Tauari-amarelo	0,50	4,2	6,6	10,9	1,57	847	111000	589	469
Tauari-branco	0,52	3,6	4,1	10,4	1,14	1061	117000	665	516
Tauari-rosa	0,65	5,8	7,8	13,4	1,34	1367	146000	895	710
Táxi-preto-folha-grande	0,56	4,1	7,3	11,1	1,78	1070	112000	762	562
Ucuúba-da-terra-firme	0,50	4,6	8,3	13,7	1,80	972	121000	472	671
Urucu-da-mata	0,32	2,6	6,0	9,1	2,31	555	77000	396	198

MOR - módulo de ruptura; MOE - módulo de elasticidade; PAR – paralela; TRANS - transversal

Tabela 4. Resultados de tração, resistência ao impacto e trabalhabilidade das espécies selecionadas.

Nome comum	Tração Perpend. (kgf/cm ²)	Resistência ao Impacto (mm)	Trabalhabilidade			
			Testes			
			Aplainamento	Torno	Broca	Serra
Açoita-cavalo	47	1637,2	fácil/ruim	fácil/excelente	fácil/excelente	difícil
Amapá	-	-	-	-	-	-
Amapá-doce	30	1415,3	regular	fácil	fácil	regular
Amarelão / Garapa	98	2039,8	fácil	fácil	fácil	fácil
Amescla	37	906,6	médio	-	-	fácil
Anani	33	1552,5	fácil/ruim	regular/ruim	fácil/muito ruim	-
Andiroba	41	1566,0	regular/bom	bom	bom	regular
Angelim-pedra	48	1686,0	muito ruim/regular	ruim/bom	fácil/bom	-
Cedrinho	29	1103,0	fácil/ruim	-	-	fácil
Cedro	29	813,5	/bom	/bom	/bom	-
Cerejeira	31	977,3	-	-	-	-
Copaíba	44	1507,7	regular/bom	/bom	bom	regular
Cuiarana / Mirindiba	-	1980,1	excelente	/excelente	-	-
Cumarú	-	3013,0	difícil	-	fácil	-
Envira-preta	24	1773,8	fácil	-	-	fácil
Faeira	63	2083,0	fácil/regular	regular/bom	regular/bom	-
Fava-amargosa	42	2691,2	regular/regular	regular/regular	regular/regular	-
Fava-arara tucupi	35	784,8	fácil/ruim	-	regular/ruim	-
Faveira-de-folha-fina	35	2339,3	difícil/regular	excelente	regular	difícil
Freijó-verdadeiro	31	1264,7	fácil/bom	-	-	fácil
Gombeira	-	-	excelente	excelente	excelente	excelente
Grumixava	40	1603,0	-	fácil/excelente	fácil/excelente	-
Guariúba/ Oiticica amarela	29	1732,2	regular/muito ruim	fácil/excelente	fácil/regular	-
Ipê	39	3430,6	fácil/bom	fácil/excelente	fácil/excelente	-
Itaúba-amarela	47 - 56	1897,2	regular	-	-	regular
Jacarandá	-	-	excelente	excelente	excelente	-
Jatobá	68	2330,7	regular/ruim	fácil/excelente	fácil/bom	-
Jequitibá-cedro	31	1312,3	bom	excelente	bom	-
Louro-vermelho	30	1233,6	fácil/bom	fácil/bom	fácil/bom	regular
Macacaúba	-	-	excelente	excelente	excelente	-
Maçaranduba	51	2819,9	fácil	fácil/excelente	fácil/excelente	-
Mandioqueira	-	1833,1	regular	-	fácil	-
Marupá	28	741,0	fácil/excelente	ruim	fácil/excelente	fácil/excelente
Mogno	61	1186,2	fácil/regular	fácil	fácil/excelente	fácil

Morototó	39	529,1	/excelente	-	/regular	-
Muiracatiara	105,3	2273,2	regular/ruim	fácil/excelente	fácil/excelente	fácil
Munguba-gr-terra-firme	36	857,7	fácil/excelente	-	-	fácil
Mururé	42	1531,4	regular/excelente	bom	excelente	-
Pará-Pará	29	367,8	fácil	-	difícil	fácil
Pequiarana	58	1544,5	/excelente	bom	bom	-
Quaruba-rosa	35	1136,0	fácil/ruim	fácil/bom	fácil/bom	fácil
Tanibuca	53	2400,6	difícil	-	-	difícil
Tatajuba	74	2343,9	fácil	fácil	fácil	fácil
Tauari-amarelo	38	1189,1	fácil/bom	-	fácil/excelente	fácil
Tauari-branco	42	1341,8	fácil	-	-	fácil
Tauari-rosa	46	2035,9	difícil	difícil	difícil	regular
Táxi-preto-folha-grande	-	-	difícil	-	fácil/bom	regular
Ucuúba-da-terra-firme	49	1019,6	fácil/bom	fácil/bom	fácil/bom	fácil
Urucu-da-mata	24	701,4	/bom	-	-	fácil

Fonte: <http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira>; SLOOTEN & SOUZA, 1993; IBDF, 1988; MAINIER & CHIMELO, 1989.

TESTE ACÚSTICO

A Tabela 5 apresenta o resultado dos testes acústicos das espécies selecionadas. Os valores apresentados são valores médios encontrados para cada espécie.

Tabela 5. Propriedades acústicas das espécies selecionadas.

Nome comum	Propriedades Acústicas		
	Velocidade de propagação - C (m/s)	Frequência natural de vibração - Fr (Hz)	Decaimento logarítmico (DL)
Açoita-cavalo	4644	159,8	0,031
Amapá	-	169,2	0,029
Amapá-doce	4492	169,2	0,029
Amarelão / Garapa	4163	166,1	0,020
Amarelão / Garapa	4163	151,6	0,034
Amescla	5045	166,1	0,028
Anani	4913	176,5	0,017
Andiroba	4510	174,1	0,025
Andiroba	4510	189,1	0,018
Angelim-pedra	4472	175,8	0,029
Cedrinho	4890	179,7	0,020
Cedro	4322	149,0	0,029
Cerejeira	4327	177,2	0,024
Copaíba	4454	196,4	0,026
Cuiarana / Mirindiba	3855	188,3	0,019
Cumarú	4223	158,5	0,020

Envira-preta	4677	193,2	0,024
Faeira	4740	188,5	0,024
Fava-amargosa	4429	190,1	0,016
Fava-arara tucupi	5157	179,6	0,027
Faveira-de-folha-fina	4172	167,3	0,026
Freijó-verdadeiro	4655	193,6	0,019
Gombeira	-	200,0	0,016
Grumixava	4604	169,1	0,018
Guariúba/ Oiticica amarela	4546	181,1	0,023
Ipê	3837	175,0	0,017
Itaúba-amarela	3985	159,3	0,031
Jacarandá	-	183,6	0,016
Jatobá	4574	155,4	0,030
Jequitibá-cedro	4953	-	-
Louro-vermelho	4452	152,0	0,033
Macacaúba	3785	163,6	0,021
Maçaranduba	3994	169,8	0,025
Mandioqueira	4404	173,9	0,020
Marupá	4645	167,9	0,027
Mogno	3563	166,6	0,027
Morototó	5250	207,3	0,026
Muiracatiara	4401	172,6	0,016
Muiracatiara	4401	174,6	0,023
Munguba-gr-terra-firme	4853	175,1	0,026
Mururé	4652	194,3	0,024
Pará-Pará	5358	198,7	0,029
Pequiarana	4808	145,3	0,037
Quaruba-rosa	4823	152,6	0,031
Tanibuca	4228	160,8	0,024
Tatajuba	4106	161,6	0,027
Tuari-amarelo	4712	176,3	0,027
Tuari-branco	4743	206,0	0,024
Tuari-rosa	4739	182,7	0,026
Taxi-preto-folha-grande	4472	176,2	0,026
Ucuúba-da-terra-firme	4919	185,0	0,026
Urucu-da-mata	4905	173,2	0,027

O resultado encontrado foi satisfatório, com resultados bem próximos aos dos obtidos por SOUZA (1983); SLOOTEN & SOUZA (1993). A frequência natural de vibração das amostras variaram de 145,3 a 207,3 Hz, com desvio padrão igual a 15,10. O decaimento logarítmico variou de 0,016 a 0,037 com desvio padrão igual a 0,005 e a velocidade de propagação sonora variou de 3553 a 5358 m/s com desvio padrão igual a 352.

Foi possível observar que ocorrem variações acústicas dentro de uma mesma espécie proveniente de regiões diferentes, como no caso das espécies amarelão/garapa, andiroba e muiracatiara. O decaimento logarítmico foi a característica que mais variou dentro de uma mesma espécie. Esse resultado pode ter ocorrido devido a diferenças de posição de corte das tábuas e até mesmo devido a características fenotípicas de cada indivíduo.

Na análise de freqüência e decaimento logarítmico para amostras com corte tangencial foi possível observar que não há diferença significativa entre os valores encontrados com os valores das amostras com corte radial. Entretanto, as amostra com corte tangencial apresentaram defeitos de processamento, apresentando empenamentos que dificultaram a realização dos testes acústicos.

Foi feito uma análise estatística visando conhecer o grau de correlação entre as propriedades físicas e acústicas e entre as propriedades mecânicas e acústicas. Segundo BARDUCCI & PASQUALINI (1948) e HAINES (1979) *apud* BUCUR (1995), madeiras com altos valores de velocidade de propagação sonora paralela às fibras geralmente são madeiras de baixa massa específica. Essa característica foi comprovada com as madeiras tropicais estudadas, sendo significativa a correlação entre massa específica e velocidade de propagação sonora, e massa específica e decaimento logarítmico e decaimento logarítmico e freqüência, e não significativo com massa específica e freqüência. (Quadro 2). O Anexo II apresenta os gráfico das análises.

Quadro 2. Correlação entre propriedades física, mecânicas e acústicas.

		DENS	VEOCIDAD	FREQ	MOE	DEC
DENS	Pearson Correlation	1	-,757**	-,165	,730**	-,391**
	Sig. (2-tailed)	,	,000	,256	,000	,006
	N	49	44	49	45	49
VEOCIDAD	Pearson Correlation	-,757**	1	,363*	-,200	,194
	Sig. (2-tailed)	,000	,	,016	,198	,207
	N	44	44	44	43	44
FREQ	Pearson Correlation	-,165	,363*	1	-,009	-,472**
	Sig. (2-tailed)	,256	,016	,	,952	,001
	N	49	44	49	45	49
MOE	Pearson Correlation	,730**	-,200	-,009	1	-,273
	Sig. (2-tailed)	,000	,198	,952	,	,070
	N	45	43	45	45	45
DEC	Pearson Correlation	-,391**	,194	-,472**	-,273	1
	Sig. (2-tailed)	,006	,207	,001	,070	,
	N	49	44	49	45	49

** . Correlação é significativa ao nível de 1%.

*. Correlação é significativa ao nível de 5%.

Dens – massa específica;

Velocidad – velocidade de propagação sonora;

Freq – freqüência natural de vibração;

MOE – módulo de elasticidade;

DEC – decaimento logarítmico.

CLASSIFICAÇÃO PARA INSTRUMENTOS MUSICAIS

Madeiras para violão

A Tabela 7 apresenta as espécies selecionadas para cada parte do instrumento. Para o uso em tampos foram selecionadas madeiras com características semelhantes ao do “spruce” (*Picea abies*). Foram selecionadas madeiras de cores claras, textura de média a fina e grã direita. A massa específica variou de 0,40 a 0,55 g/cm³, decaimento logarítmico abaixo de 0,027, frequência acima de 150 Hz, velocidade de propagação sonora entre 4000 e 5200 m/s.

Para lateral e fundo foram selecionadas madeiras com características semelhantes ao jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra*) e ao “maple” (*Acer* sp.). Foram selecionadas madeiras com cores tendendo do vermelho ao marrom escuro, com massa específica variando de 0,53 a 0,92 g/cm³, decaimento logarítmico abaixo de 0,027, velocidade de propagação sonora entre 3700 a 4800 m/s, grã direita ou ondulada, textura de média a fina. Foram selecionadas espécies fora desse critério de seleção por apresentarem excelentes propriedades acústicas para a dada finalidade. No caso do mogno, andiroba, cuiarana, faieira e tanibuca, foram selecionadas por apresentarem características acústicas promissoras, embora apresentem grã irregular. A faieira foi mantida, embora apresentasse textura grossa, por possuir raios largos e, com isso, garantido uma estética considerável ao instrumento.

Para o uso em braço foram selecionadas espécies que apresentaram boa estabilidade dimensional, massa específica entre 0,50 a 0,79 g/cm³, MOE entre 99000 e 153000 Kgf/cm² e grã direita. Para a escala foram selecionadas madeiras com MOE acima de 140000 Kgf/cm², e massa específica acima de 0,63 g/cm³ e preferencialmente madeiras de cor escura. Ressalva-se as espécies cumarú e tanibuca por apresentarem grã irregular, e as espécies envira-preta, grumixava, macacúba e muiracatiara por apresentarem excelentes características de trabalhabilidade e por todas possuírem propriedades acústicas e mecânicas próximas ao ébano (*Diospyros* spp.).

Tabela 7. Madeiras selecionadas para uso em violões.

Violão			
Tampo	Laterais e Fundo	Braço	Escala
Amapá	Andiroba*	Andiroba	Cumarú*
Marupá	Cuiarana / Mirindiba*	Cedro	Envira preta*
Munguba-gr-terra-firme	Copaíba	Grumixava	Gombeira
Pará-Pará	Faieira*	Jequitibá-cedro	Grumixava*
Morototó	Gombeira	Copaíba	Ipê
Tuari-amarelo	Grumixava	Louro-vermelho	Jacarandá
Tuari-branco	Jacarandá	Macacaúba	Macacaúba*
Ucuúba-da-terra-firme	Jequitibá-cedro	Mogno*	Maçaranduba
Freijó verdadeiro	Macacaúba	Muiracatiara	Muiracatiara*
	Mogno*	Mururé	Mururé
	Muiracatiara		Tanibuca*
	Mururé		
	Tanibuca*		

Obs.: Os asteriscos referem-se a madeiras que foram ressalvas.

Madeiras para guitarras elétricas e contrabaixos

As madeiras selecionadas para cada parte do instrumento estão presentes na Tabela 8.

Para o corpo do instrumento a cor da madeira não é uma característica de extrema importância, pois grande parte dos fabricantes de guitarra e contrabaixo pintam as madeiras. Com isso, as propriedades mecânicas e acústicas são de suma importância para a qualidade do instrumento. O peso do corpo não pode ser muito alto, logo foram selecionadas madeiras com baixa massa específica, entre 0,35 a 0,65 g/cm³, velocidade de propagação sonora acima de 3400 m/s e baixo decaimento logarítmico. Entretanto, grande parte das espécies selecionadas apresentou decaimento logarítmico mediano, entre 0,023 e 0,027. Com relação aos caracteres anatômicos selecionaram-se madeiras com textura variando de média a fina, e grã direita.

Para o braço do instrumento selecionou-se madeiras com MOE entre 88000 e 146000 kgf/cm², dureza janka entre 520 e 950 kgf, frequência entre 150 e 200 Hz, decaimento logarítmico próximo a 0,025, velocidade de propagação sonora acima de 4000 m/s, grã direita e textura de média a fina. A cerejeira foi mantida por apresentar propriedades mecânicas e acústicas que se enquadram dentro do critério de seleção e por ser fácil de encontrar no mercado. Para escalas foram selecionadas madeiras escuras, com características físicas e mecânicas próximas ao ébano, e madeiras claras, com características próximas ao “maple”. Foram selecionadas madeiras com massa específica acima de 0,67 kgf/cm², MOE acima de 106000 kgf/cm², velocidade de propagação sonora acima de 3800 m/s. A trabalhabilidade é outro fator de suma importância para as escalas, sendo assim, foram selecionadas madeiras fácil de plainar e serrar. A muirapiranga foi uma espécie mantida por apresentar coloração avermelhada, contribuindo assim para a estética do instrumento.

Tabela 8. Madeiras selecionadas para uso em guitarras elétricas e contrabaixo.

Guitarra e Contrabaixo		
Corpo	Braço	Escala
Amapá-doce	Amapá-doce*	Envira-preta
Anani	Anani	Gombeira
Andiroba	Andiroba*	Grumixava
Cedrinho	Cedro	Ipê
Cedro	Cerejeira	Jacarandá
Copaíba	Copaíba	Jequitibá-cedro
Freijó-verdadeiro	Envira-preta	Macacaúba
Marupá	Itaúba-amarela	Maçaranduba
Mogno	Jequitibá-cedro	Muiracatiara
Munguba-gr-terra-firme	Louro-vermelho	Mururé
Tauari-amarelo	Tauari-rosa	
Tauari-branco		
Ucuúba-da-terra-firme		
Urucu-da-mata		

Obs.: Os asteriscos referem-se a madeiras que foram ressalvas.

Madeiras para instrumentos de sopro: Clarineta, oboés, flautas e fagotes

Foram selecionadas 7 espécies que apresentaram alta massa específica, acima de 0,75 kgf/cm², grã direita, textura de média a fina, cor escura, com bom acabamento, excelente torneamento, furação e perfuração, e estabilidade dimensional. Duas espécies foram ressalvas, a muiracatiara, por apresentar coloração mais clara que as demais, e a faieira por, embora possuir contração volumétrica alta (18,0%) e textura grossa, foi mantida por possuir excelentes características acústicas.

Para flautas e fagotes a seleção foi baseada na comparação com o “maple”. Foram selecionadas inicialmente espécies que possuíam grã direita e textura fina. Logo após, critérios físicos e acústicos foram analisados, sendo selecionadas madeiras com massa específica entre 0,41 a 0,65 kgf/cm², contração volumétrica abaixo de 14,0%, frequência natural de vibração abaixo de 210 Hz, decaimento logarítmico abaixo de 0,030 e velocidade de propagação sonora acima de 4000 m/s. A trabalhabilidade foi um critério de eliminação, mantendo apenas madeiras com bom acabamento, torneamento, furação e perfuração. As espécies selecionadas estão presentes na Tabela 9.

Tabela 9. Madeiras classificadas para instrumentos de sopro.

Instrumentos de sopro	
Clarinetas e Oboés	Flautas e Fagotes
Espécies	
Faeira*	Cedro
Gombeira	Envira preta
Ipê	Jequitibá-cedro
Jacarandá	Tuari-amarelo
Macacaúba	Mururé
Maçaranduba	Pará-Pará
Muiracatiara*	Copaíba
	Tuari-branco
	Ucuúba-da-terra-firme
	Urucu-da-mata
	Grumixava
	Itaúba-amarela

Obs.: Os asteriscos referem-se a madeiras que foram ressalvas.

Madeiras para corpo de gaitas diatônicas

A Tabela 10 apresenta as madeiras selecionadas e as principais características necessárias para o instrumento.

Tabela 10. Madeiras selecionadas e características analisadas para a confecção de corpo de gaitas diatônicas.

Espécie	
Açoita-cavalo	Louro-vermelho
Amapá-doce	Macacaúba*
Amarelão / Garapa	Maçaranduba
Amescla	Mandioqueira*
Andiroba	Mogno
Angelim-pedra	Morototó
Copaíba	Muiracatiara
Cuiarana / Mirindiba*	Munguba-gr-terra-firme
Cumarú*	Mururé
Faeira	Pequiarana
Fava-arara tucupi	Quaruba-rosa
Faveira-de-folha-fina	Tanibuca
Freijó-verdadeiro	Tatajuba
Grumixava	Tuari-amarelo
Ipê	Tuari-branco
Itaúba-amarela	Tuari-rosa
Jatobá	Taxi-preto-folha-grande*
Jequitibá-cedro	Ucuúba-da-terra-firme

Obs.: Os asteriscos referem-se a madeiras que foram ressalvas.

Madeiras para percussão: baterias, conga e bongôs

A Tabela 11 apresenta as espécies selecionadas para os instrumentos.

Tabela 11. Espécies selecionadas para percussão.

Percussão - Baterias, Conga e Bongôs	
Espécie	
Amapá-doce	Maçaranduba
Amescla	Marupá
Andiroba	Mogno
Cedro	Munguba-gr-terra-firme
Fava-arara-tucupi	Tatajuba
Faveira-de-folha-fina	Tuari-amarelo
Jatobá	Taxi-preto-folha-grande
	Urucu-da-mata

Madeiras para baquetas

Ao se comparar as espécies selecionadas com o “hickory”, duas espécies ficariam de fora da seleção, a copaíba e o mururé. Entretanto as mesmas entraram por possuir valores de resistência ao impacto bem próximo ao do “hickory” e também excelentes características de trabalhabilidade. A Tabela 12 apresenta as madeiras selecionadas para o uso em baquetas, bem como as propriedades necessárias para o instrumento.

Tabela 12. Madeiras selecionadas para baquetas e suas principais características.

Espécie	
Copaíba*	Itaúba-amarela
Envira preta	Jacarandá
Gombeira	Maçaranduba
Grumixava	Muiracatiara
Ipê	Mururé*

Obs.: Os asteriscos referem-se a madeiras que foram ressalvas.

CONCLUSÃO

As espécies estudadas apresentaram excelentes resultados acústicos quando comparadas com espécies tradicionalmente conhecidas. Foi possível observar que ocorrem variações acústicas dentro de uma mesma espécie proveniente de regiões diferentes, como no caso das espécies amarelão/garapa, andiroba e muiracatiara. O decaimento logarítmico foi a característica que mais variou dentro de uma mesma espécie. Esse resultado pode ter ocorrido devido a diferenças de posição de corte das tábuas e até mesmo devido a características fenotípicas de cada indivíduo.

Os resultados obtidos mostram que as espécies nativas amazônicas selecionadas 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 dos instrumentos, 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.

Com a visita feita à 21ª Feira Internacional da Música – Expomusic foi possível observar que já existe uma predisposição dos fabricantes de instrumentos musicais à procura de madeiras alternativas. Muitas empresas afirmam ter obtidos instrumentos de excelente qualidade utilizando madeiras amazônicas. Entretanto, a indisponibilidade dessas madeiras no mercado dificulta a produção de instrumentos, uma vez que as serrarias não dispõem de volume suficiente para atender a demanda das empresas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEMÚSICA: <http://www.abemusica.com.br/estatistica.asp>, acessado em 04 de fevereiro de 2005. Atualizado em: 12 de janeiro de 2005.
- 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.
- BUCUR, Voichita. *Acoustics of Wood*. CRC Press. 1995. 284p.
- BARDUCCI, I.; PASQUALINI, G. *Nuovo cimento*. Misura dell’attrito interno e delle costanti elastiche del legno. 1948. I(5). p. 416-466.
- CAILLIEZ, F.; PAGES J. P. *Introduction a l’analyse des donnes*. Paris: SMASH, 1976.
- FAGUNDES, P. V. *Utilização de espécies madeireiras amazônicas para fabricação em corpo de gaita diatônica*. 2003. 55 f. Trabalho final de curso (Engenharia Florestal) – Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília, Brasília.
- FERNANDEZ, G. de A. *Avaliação de madeiras brasileiras para utilização em guitarras elétricas*. 2004. 41 f. Trabalho final de curso (Engenharia Florestal) – Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília, Brasília.
- HAINES, D. *Catgut acoustic*. On musical instrument wood. Soc. Newslett: 1979, n° 24, p. 25-28.
- HEARMON, R. F. S. *The assessment of wood properties by vibration and high frequency acoustic waves*. U.K: Forest Research Laboratory, 1968. 49-52pp.
- IBAMA, *Madeiras da Amazônia: Características e utilização*. Brasília: IBAMA, 1997. p. 141 Volume III.
- IBDF, *Madeiras da Amazônia: Características e utilização*. Brasília: CNPq, 1981. p. 113 Volume I.
- IBDF, *Madeiras amazônicas: Características e utilização*. Brasília: IBDF/DPq-LPF, 1988. p. 236 Volume II.
- KOLLMAN, F. F. P. COTÊ Jr., W. A. *Principles of Wood science and technology*. Berlim: Springer – Verlag, 1968.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P., *Fichas de Características das Madeiras Brasileiras*. São Paulo: IPT, 1989. p.420

- PEARSON, F. G. O.; WEBSTER, C. *Timbers used in the musical instrument industry*. U.K: Forest Products Research Laboratory, 1956. 47p.
- SLOOTEN, H. J. van der; SOUZA, M. R. de. *Avaliação das espécies madeiras 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.
- TELES, R. F. *Avaliação de madeiras amazônicas para utilização em instrumentos musicais*. Madeiras para violões. Relatório de projeto PIBIC, IBAMA/CNPq. Brasília: 2004.

ANEXO I. Caracteres gerais e anatômicos das espécies selecionadas.

NOME COMUM	CARACTERÍSTICAS GERAIS E ANATÔMICAS							
	DISTINÇÃO CERNE E ALBURNO	COR DO CERNE	BRILHO	GRÃ	TEXTURA	FIGURA RADIAL	RESISTÊNCIA AO CORTE MANUAL	PRESENÇA DE INCLUSÕES MINERAIS
Açoita-cavalo	indistintos	marrom-amarelado claro	ausente	reversa	média	destaque dos raios e linhas longitudinais pouco destacadas	moderadamente dura	
Amapá				direita				
Amapá doce	distintos	marrom-avermelhado escuro	fraco	reversa	média	ausente	macia	não
Amarelão / Garapa	distintos	branco-amarelado	moderado	reversa	média	linhas longitudinais causadas pelos anéis	dura	sim, sílica e cristais
Amescla	pouco distintos	marrom-avermelhado claro	moderado	cruzada	média	destaque dos raios e faixas longitudinais causadas pelos anéis	moderadamente dura	
Anani	distintos	amarelo-amarronzado	moderado	direita	média	linhas causadas pelo parênquima e anéis	moderadamente dura	sim, cristais
Andiroba	pouco distintos	marrom-avermelhado	moderado	direita a cruzada	média	ausente	moderadamente dura	
Andiroba	pouco distintos	marrom-avermelhado	moderado	direita a cruzada	média	ausente	moderadamente dura	não
Angelim-pedra	distintos	marrom-avermelhado claro	ausente	reversa	grossa	aspecto fibroso e com manchas	dura	não
Cedrinho	distintos	marrom-avermelhado claro	moderado	direita a cruzada	média	ausente	dura	não
Cedro	distintos	rosa	acentuado	direita	média	causada pelo contraste dos raios	macia	não
Cerejeira	distintos	amarelo-pálido	moderado	direita	grossa	causada pelas linhas vasculares, contraste dos raios	macia	
Copaíba	distintos	marrom-avermelhado escuro	moderado	direita	média	faixas longitudinais causadas pelos anéis	macia	sim, cristais
Cuiarana / Mirindiba	pouco distintos	marrom muito pálido	ausente	reversa	média	faixas longitudinais causadas pelos anéis, linhas vasculares destacadas	dura	
Cumarú	distintos	castanho-escuro	moderado	reversa	média	linhas vasculares destacadas	dura	
Envira preta	indistintos	marrom-amarelo claro	fraco	direita	média	destaque dos raios	moderadamente dura	
Faeira	distintos	vermelho-amarelado	moderado	direita	grossa	faixas radiais largas e contrastadas	moderadamente dura	
Fava-amargosa	distintos	marrom-avermelhado	moderado	reversa	grossa	aspecto fibroso devido contraste parênquima e fibras	moderadamente dura	

Continuação ANEXO I.

CARACTERÍSTICAS GERAIS E ANATÔMICAS								
NOME COMUM	DISTINÇÃO CERNE E ALBURNO	COR DO CERNE	BRILHO	GRÃ	TEXTURA	FIGURA RADIAL	RESISTÊNCIA AO CORTE MANUAL	PRESENÇA DE INCLUSÕES MINERAIS
Fava-arara tucupi	indistintos	cinza-claro	ausente	direita a cruzada	média	linhas vasculares destacadas	macia	sim, cristais
Faveira-de-folha-fina	pouco distintos	marrom-amarelo-pálido	moderado	cruzada irregular	média	linhas longitudinais causadas pelos anéis	macia	
Freijó verdadeiro	distintos	marrom-cinza claro	fraco	direita a reversa	média	faixas longitudinais causadas pelos anéis	macia	sim, cristais
Gombeira	distintos	preta	moderado	direita	finha	ausente	dura	
Grumixava	pouco distintos	marrom-rosado	moderado	direita a ondulada	finha	ausente	macia	
Guariúba/ Oiticica amarela	distintos	amarelo	moderado	cruzada reversa	média	faixas longitudinais irregulares causadas pela grã	moderadamente dura	sim, cristais
Ipê	distintos	marrom-escuro	fraco	direita	finha	ausente	dura	
Itaúba-amarela	distintos	marrom-amarelado	fraco	ondulada	média	faixas longitudinais causadas pelos anéis, grã, destaque das linhas vasculares	moderadamente dura	sim, sílica
Jacarandá			moderado	direita	média a fina	aspecto fibroso devido contraste parênquima e fibras, destaque das linhas vasculares	dura	
Jatobá	distintos	marrom-avermelhado	moderado	cruzada	média	linhas longitudinais causadas pelos anéis	dura	
Jequitibá-cedro (35)	pouco distintos	róseo-acastanhado	moderado	direita	média	linhas longitudinais causadas pelos anéis	moderadamente dura	sim (cristais)
Louro-vermelho	indistintos	marrom-amarelo-pálido	fraco	direita a cruzada	média	ausente	macia	não
Macacaúba	pouco distintos	marrom pálido	forte	direita a ondulada	finha	linhas longitudinais causadas pelos anéis	macia	
Maçaranduba	indistintos	marrom-vermelho escuro	ausente	direita	finha	pouco destacada causada pelas linhas vasculares	dura	
Mandioqueira	pouco distintos	bege-amarelado claro	ausente	oblíqua	grossa	aspecto fibroso devido contraste parênquima e fibras, destaque das linhas vasculares	dura	
Marupá	indistintos	branco-amarelado	moderado	direita	média	pouco destacada, causada pelas linhas vasculares e contraste de raios	macia	
Mogno	distintos	marrom-avermelhado	acentuado	direita a irregular	média	ausente	moderadamente dura	
Morotó	indistintos	branca	moderado	direita	média	raios contrastados	macia	
Muiracatiara	distintos	vermelho-amarelado	ausente	ondulada	média	linhas longitudinais causadas	dura	sim, cristais

Continuação ANEXO I.

pelos anéis

NOME COMUM	CARACTERÍSTICAS GERAIS E ANATÔMICAS							RESISTÊNCIA AO CORTE MANUAL	PRESENÇA DE INCLUSÕES MINERAIS
	DISTINÇÃO CERNE E ALBURNO	COR DO CERNE	BRILHO	GRÃ	TEXTURA	FIGURA RADIAL			
Muiracatiara	distintos	vermelho-amarelado	ausente	ondulada	média	linhas longitudinais causadas pelos anéis	dura		
Munguba gr terra firme	indistintos	marrom-amarelado	fraco	direita a cruzada	média	linhas longitudinais causadas pelos anéis	macia		
Mururé	distintos	marrom-escuro	ausente	direita	média	faixas longitudinais de cores distintas	dura		
Pará-Pará	indistintos	branco-amarelado	fraco	direita	média	ausente	macia		
Pequiarana	indistintos	amarelo-pálido	ausente	reversa	média	pouco destacada causada pelas linhas vasculares	moderadamente dura	sim, cristais	
Quaruba-rosa	pouco distintos	rosa	ausente	cruzada reversa	média	linhas longitudinais causadas pelos anéis	macia	não	
Tanibuca	pouco distintos	marrom	moderado	cruzada	média	ausente	dura		
Tatajuba	distintos	marrom-dourado	acentuado	entrecruzada	média	linhas vasculares destacadas	dura	sim, cristais	
Tuari-amarelo	indistintos	branco	ausente	direita	média	linhas longitudinais causadas pelos anéis	macia	sim, cristais	
Tuari-branco	indistintos	branco-amarelado	fraco	direita	média	ausente	macia	sim, cristais	
Tuari-rosa	indistintos	marrom-amarelado-claro	fraco	direita	média	linhas longitudinais causadas pelos anéis			
Taxi preto folha grande	indistintos	marrom-dourado	acentuado	cruzada	média	linhas longitudinais causadas pelos anéis	dura		
Ucuúba-da-terra-firme	indistintos	marrom-amarelo-fraco	moderado	direita	média a fina	raios destacados	macia		
Urucu da mata	indistintos	marrom-rosado-claro	moderado	direita	média	linhas longitudinais causadas pelos anéis			

Fonte: Banco de dados LPF / IBAMA (<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira>); IBDF (1981); IBDF (1988); IBAMA (1997); MANIERI & CHIMELO (1989).

ANEXO II – Gráficos de correlação entre propriedades físicas, mecânicas e acústicas.

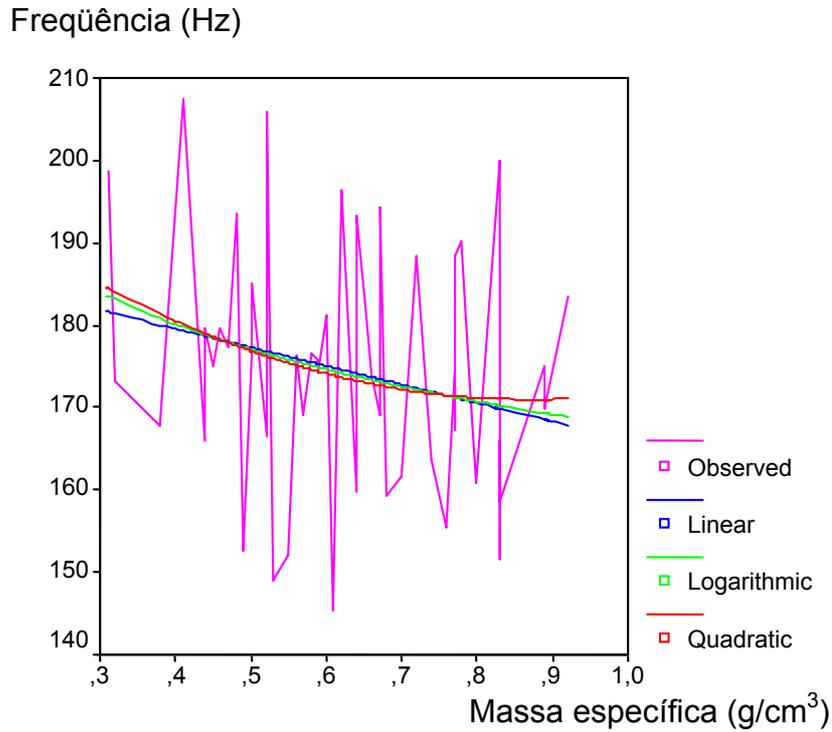


Figura 1. Gráfico de correlação entre frequência e massa específica.

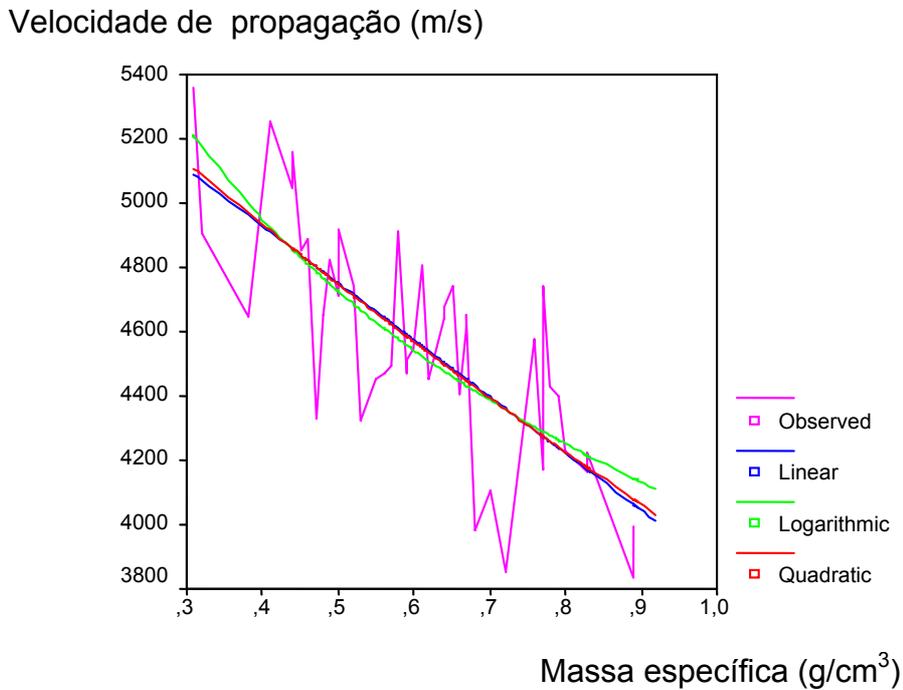


Figura 2. Gráfico de correlação entre velocidade de propagação sonora e massa específica.

Continuação ANEXO II.

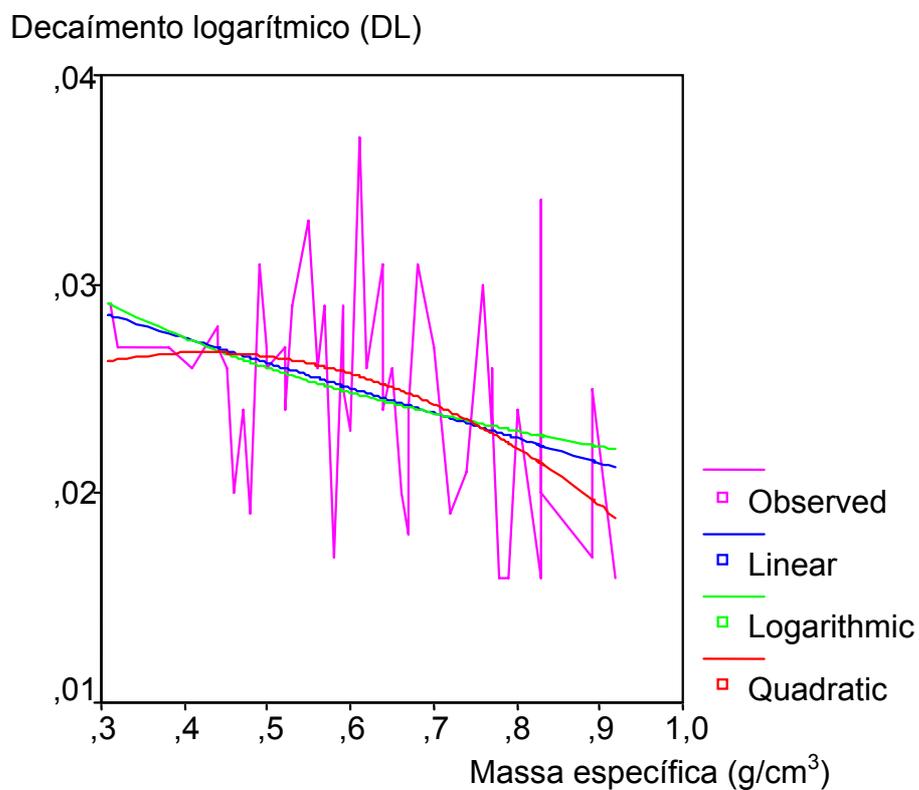


Figura 3. Gráfico de correlação entre decaimento logarítmico e massa específica.