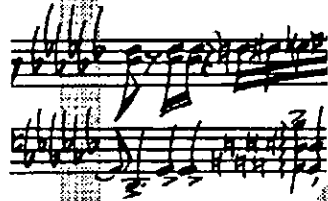




**EVALUATION of SELECTED
AMAZONIAN WOOD
SPECIES for MUSICAL
INSTRUMENT MANUFACTURE**

**AVALIAÇÃO das Espécies
MADEIREIRAS da AMAZÔNIA SELECIONADAS
PARA a MANUFATURA de INSTRUMENTOS MUSICAIS**



Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia



**Ministério da Ciência e Tecnologia
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia**

Harry Jan Van Der Slooten

Mário Rabelo de Souza

**Avaliação das Espécies Madeireiras da Amazônia Seleccionadas
para a Manufatura de Instrumentos Musicais**

Manaus — Amazonas

INPA

1993

Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA

Comissão Editorial

Cláudio Ruy Vasconcelos da Fonseca
Raimunda Silva Neves
Efreim Jorge Gondim Ferreira
Luiz Antônio de Oliveira
Ary de Oliveira Marques Filho
William Ernest Magnusson
Ana Luiza Belém Rebello
José Celso O. Malta

Secretaria

Editor-responsável
Raimunda Silva Neves
Digitação
Esnider Coelho de Oliveira Junior

Composição Gráfica e Editoração Eletrônica

Carlos Palácio

VAN DER SLOOTEN, Harry Jan

Avaliação das Espécies Madeireiras da Amazônia
Selecionadas para a Manufatura de Instrumentos Musicais,
INPA, 1993
123p.

1. Madeiras da Amazônia — Instrumentos musicais —
catálogo 2. Instrumentos Musicais — madeiras da
Amazônia I. Título

CDD 674.09811

Alameda Cosme Ferreira, 1756 - Cx. P. 478 - 69011-970 Manaus - Amazonas - Brasil

TABLE OF CONTENTS

Apresentação / Presentation		
Agradecimentos / Acknowledgments		
Resumo / Abstract		
1. Introdução / Introduction	3	65
2. Madeiras Tradicionais para uso em Instrumentos Musicais / Traditional woods in use for musical instruments	5	67
2.1. Madeiras para Instrumentos de Corda / Woods for Stringed Instrument	5	67
2.2. Madeiras para Instrumentos de Sopros / Wood Wind instruments	6	68
3. Pré-Seleção de espécies de madeira para diferentes instrumentos musicais e seus componentes / Pre-selection of brazilian wood species for different musical instruments and their components	6	68
4. Amostragem e processamento do material de teste / Sampling and processing of test material	8	70
5. Procedimentos de Testes e Resultados / Test procedures and results	8	70
5.1. Determinação das Características Gerais / Determination of general characteristics	8	70
5.2. Determinação das Características Físicas / Determination of Physical properties	12	75
5.3. Propriedades Mecânicas / Mechanical Properties	14	75
5.4. Secagem de Material Teste por Diferentes Métodos / Drying of Test Material Applying Different Methods	17	75
5.4.1. Secagem de madeira Serrada para Instrumentos de Corda / Drying of Sawn Lumber for Stringed Instruments	17	79

5.4.2. Secagem de madeira para instrumentos de sopro / Wood Drying for Wood Wind Instruments	18	79
5.5. Estabilidade dimensional das madeiras / Dimensional Stability of the Woods	18	80
5.6. Propriedades acústicas das espécies de madeira pré-selecionadas para instrumentos de corda / Acoustical Properties of the Pre-Selected Woods for Stringed Instruments	27	88
5.7. Propriedades mecânicas das espécies de madeira pré-selecionadas / Machining Properties of the Pre-Selected Wood Species	30	92
6. Discussão / Discussion	35	96
7. Conclusões / Conclusions	39	100
Apêndices / Appendix		
Apêndice 1 / Append 1	43	103
Apêndice 2 / Append 2	44	104
8. Bibliografia / Bibliography	123	123

Resumo

Este trabalho cobre a pesquisa de um grande número de espécies madeireiras tropicais da Amazônia visando definir suas aptidões para os diferentes componentes de instrumentos musicais de corda e de sopro. A investigação dessas espécies incluiu a determinação de características gerais (cor, textura, figura e grã), propriedades físicas (peso específico, contração), propriedades mecânicas (flexão estática e compressão paralela à grã), estabilidade dimensional sob diferentes condições climáticas, propriedades acústicas e propriedades de usinabilidade. Os resultados dessa pesquisa permitiram a classificação das espécies para os diferentes componentes dos instrumentos, no entanto, a adequação de cada espécie terá de ser confirmada através do seu uso efetivo na fabricação de protótipos de cada tipo de instrumento e subsequentes testes de qualidade desses instrumentos por músicos profissionais.

O projeto foi idealizado pela Fundação Nacional de Arte (FUNARTE), financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e executado pelo Centro de Pesquisa de Produtos Florestais (CPPF) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e pelo Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF).

Abstract

This paper covers an investigation of a large number of Amazon tropical timber species, testing their suitability for stringed and wind musical instruments components. The investigation determined the general characteristics (color, texture, figure and grain), physical properties (specific gravity, shrinkage), mechanical properties (static bending and compression parallel to the grain), dimensional stability under different climatic conditions, acoustical properties and machining properties. The results of the investigation allowed the classification of the species for different instrument components, however, the suitability of each timber has to be confirmed by its actual use in the manufacture of prototypes of each instrument and quality testing by professional musicians.

The project was sponsored by the Brazilian National Art Foundation (FUNARTE), financed by the Financing Agency for Studies and Projects (FINEP) and executed by the Forest Products Research Center (CPPF) at the National Institute for Amazon Research (INPA) and the Forest Products Laboratory (LPF) of the Brazilian Institute for Forestry Development (IBDF).

Agradecimentos

O Coordenador do projeto agradece a Dra. Clara Pandolfo, Diretora do Departamento de Recursos Naturais da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), Belém, por ter dado autorização para que a nossa equipe trabalhasse junto à SUDAM; ao Dr. Cesar Augusto Carneiro Lopes, pela excelente colaboração na coleta do material à Manaus; à Delegacia do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal - IBDF, Belém e à sua sede em Santarém pela coleta feita na Reserva Florestal de Tapajós.

Agradecimentos também ao Dr. William Rodrigues, do Departamento de Botânica, à equipe do CPPF/INPA, nas pessoas do Setor de Anatomia da Madeira, Srs. Arthur A. Loureiro e Roland Vetter, pela colaboração na identificação anatômica e determinação da cor das madeiras; à Srt^a Claudete Catanhede do Nascimento, da Divisão de Engenharia da Madeira; ao Engenheiro José Murilo Ferraz Suano, responsável pela usinabilidade da madeira; ao Sr. Jair Ferreira Batista, responsável pela fabricação dos instrumentos musicais; a Srt^a Rejane Mércia de Siqueira Moraes, pela colaboração na tradução deste trabalho; e a Srt^a Ivonete Moraiz de Lima, responsável por toda a revisão e datilografia.

Acknowledgmentes

The coordinator of the project would like to thank Dr. CLARA PANDOLFO, director of the Natural Resources Department at the Superintendency for the Development of the Amazon (SUDAM), Belém, who authorized our team to work together at SUDAM; to Dr. CESAR AUGUSTO CARNEIRO LOPES, for his excellent collaboration in collecting material for Manaus; to the Institute for Forest Development - IBDF, branches in Manaus, Belém and Santerém for their collections made in the Tapajós Forest Reserve.

We would also thank Dr. WILLIAM RODRIGUES, of the Botanic Department INPA; also the people in the Wood Anatomy Section CPPF/INPA, Mr ARTHUR A. LOUREIRO and Mr ROLAND VETTER, for their collaboration in anatomy identification and color determination of the woods, Ms CLAUDETE CATANHEDE DO NASCIMENTO, from the Wood Engineering Division, engineer JOSÉ MURILO FERRAZ SUANO, responsible for wood machining, Mr. JAIR FERREIRA BATISTA, responsible for the musical instruments manufacture, Ms REJANE MÉRCIA DE SIQUEIRA MORAES, for collaborating in the translation of this work and to Ms IVONETE MORAIZ DE LIMA, responsible for all the typing (manuscript) revision.



Catálogo de Madeiras para Instrumentos Musicais

1. Introdução

O Brasil é essencialmente um país importador de madeiras estrangeiras para a fabricação de instrumentos musicais de corda e de sopro. Por esta razão, surgiu a idéia de realizar um projeto para definir espécies brasileiras capazes de substituir as importadas. É praticamente desconhecido no Brasil e no mundo, um trabalho sistemático de pesquisa científica para determinar a adequação de novas espécies de madeira na fabricação de instrumentos musicais, e o Brasil está realmente abrindo fronteiras nessa área.

A fabricação de instrumentos musicais é muito mais uma questão de tradição e arte do que um simples processo industrial, e os fabricantes e artesões desses instrumentos são bastante conservadores na escolha das madeiras, que durante séculos vêm sendo utilizadas para os diferentes componentes de um instrumento.

Seria quase impossível que dentre as milhares de espécies tropicais existentes não se encontrassem pelo menos algumas poucas com potencial para substituir as tradicionalmente usadas na fabricação de instrumentos musicais.

O projeto consistiu na seleção e análise de um número relativamente grande de espécies, e foi na verdade um trabalho de cooperação multilateral, tendo a Fundação Nacional de Arte (FUNARTE) como Órgão Coordenador, e o Centro de Pesquisa de Produtos Florestais (CPPF) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, o Laboratório de Produtos Florestais do IBDF, Brasília, e a Divisão de Madeiras do Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT), São Paulo, como agências executoras. O Instituto de Pesquisa Tecnológica foi responsável pelos testes de um número considerável de diferentes espécies e os resultados dessas análises serão publicados separadamente. Este projeto foi financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

O objetivo maior da pesquisa foi selecionar espécies brasileiras adequadas para substituir madeiras importadas na fabricação de instrumentos musicais, seus componentes e acessórios, através de:

1. análise comparativa das características e propriedades dessas espécies;
2. fabricação de protótipos dos diferentes instrumentos de corda e de sopro com as espécies selecionadas, tomando como base os resultados da análise do item "1";
3. testes desses instrumentos, durante o período de 01 ano, por músicos profissionais.

A análise de 21 espécies de madeiras da Amazônia (16 espécies para instrumentos de corda e 5 para instrumento de sopro) realizada pelos laboratórios do INPA e do IBDF, envolveu a pré-seleção das espécies, a amostragem na floresta, a preparação do material de teste, a determinação das características gerais da madeira e propriedades físico-mecânicas básicas, o comportamento durante a secagem, a estabilidade dimensional, a usinabilidade e as propriedades acústicas.

A primeira fase do projeto abrangeu somente a pré-seleção e os testes das madeiras brasileiras. A fabricação dos protótipos e os testes desses instrumentos por músicos estão previstos para a segunda e terceira fases do projeto. O presente trabalho cobre somente a 1ª fase, encerrada em novembro/85, após uma reunião entre executores, fabricantes e artesãos de instrumentos musicais, na qual foram selecionadas as espécies mais promissoras para a fabricação dos componentes de instrumentos, de acordo com os resultados obtidos nesta fase.

2. Espécies madeiras tradicionalmente usadas na fabricação de instrumentos musicais.

2.1. Madeiras para componentes de instrumentos de corda (violinos, violões, violoncelos e contrabaixos)

Os tampos dos instrumentos são tradicionalmente confeccionados em abeto europeu (*Picea abies*), porém abeto sitka (*Picea sitchensis*) também tem sido usado como substituto.

O fundo, o go, as volutas e as faixas são normalmente feitos de "Sycamore" (*Acer pseudoplatanus*) ou plátano europeu (*Acer platanoides*). O plátano é espécie madeireira bastante procurada porque além da boa figura que produz, é fácil de entalhar, fator importante na confecção das volutas. A razão mais importante para a preferência do abeto na confecção do tampo e do plátano para o fundo é que após a montagem do instrumento as notas musicais produzidas pelas duas lâminas (tampo e fundo) devem ter uma relação exata entre elas, ou seja, o fundo deverá produzir notas (1) um tom acima das produzidas pelo tampo⁹).

A alma e as barras são geralmente feitas na mesma madeira do tampo, ou seja, em abeto. Para blocos e revestimentos usa-se o abeto e algumas vezes "Willow" (*Salix alba*). As escalas são tradicionalmente feitas de ébano africano ou ébano de Mauritius. A maioria dos ébanos que são espécies do gênero "Diospyros", não existem no Brasil, e é essencial para a confecção de escalas que a madeira escolhida seja dura e pesada, visto que as cordas, sendo metálicas, têm tendência a cortar a madeira durante o uso do instrumento. O estandarte é feito de ébano, "boxwood" ou "rosewood". Os queixeiros são também confeccionados de ébano ou "boxwood". As cravelhas são feitas de "boxwood", "rosewood" ou ébano, e devem ser bastante lisas para que girem facilmente, sem no entanto permitirem muito folga. As pontes são feitas de "sycamore" ou plátano europeu, na Europa, e de plátano rocha (*Racher nigrum*) nos EEUU⁹).

A única madeira considerada realmente adequada para a confecção de arcos é o Pau-Brasil (Pernambuco) (*Caesalpinia echinata*). Esta madeira é excepcional para tal finalidade, pois possui peso específico necessário, elasticidade e resistência mecânica alta (especialmente MOE e MOR na flexão estática). É extremamente difícil encontrar uma substituta para esta madeira que possua a mesma combinação de propriedades.

As madeiras de maior preferência para a confecção de violões clássicos são o abeto das florestas da Suíça e da Alemanha, e abeto "Sitka" da América do Norte, para o tampo;

o pau-rosa do Brasil para o fundo e faixas; o mogno e o cedro de Honduras para o braço e, o ébano para as escalas ⁷.

2.2. Instrumentos de sopro (clarineta, oboés)

As espécies madeireiras que são consideradas adequadas para a fabricação de instrumentos de sopro devem ter densidade alta e textura relativamente fina. Textura grossa, grã aberta e densidade de mediana à baixa têm um efeito prejudicial no tom. É essencial que a madeira permita um acabamento excelente, principalmente no torneamento, furação e na perfuração. A facilidade de usinabilidade no entanto, não é considerada fator importante, uma vez que as espécies que apresentam melhores resultados muitas vezes são aquelas que, de acordo com as normas, são consideradas muito difíceis de serem usinadas. A estabilidade dimensional porém é um fator bastante importante, pois qualquer alteração nas dimensões dos furos pode alterar a qualidade do som do instrumento, que fica sujeito a consideráveis variações de teor de umidade, porque são soprados pela boca ⁹). Uma das espécies mais usadas na fabricação de clarinetas e oboés é "blackwood" Africana (*Dalbergia melanoxylon*).

3. Pré-seleção de espécies madeireiras brasileiras para os diferentes instrumentos musicais e seus componentes.

Os critérios usados na pré-seleção das madeiras brasileiras a serem utilizadas para os testes e na posterior confecção dos protótipos foram: a) características anatômicas em geral (cor, grã, textura e figura); b) propriedades físicas (densidade da madeira e contração); c) propriedades mecânicas (módulos de ruptura e elasticidade na flexão estática, compressões paralelas e perpendicular à grã, cisalhamento e dureza).

A maioria das espécies selecionadas foi previamente testada para outras finalidades e em geral apenas uma pequena quantidade do material de teste por espécie foi usado, o que pode ser considerado insuficiente para se chegar a conclusões confiáveis no que diz respeito aos seus possíveis usos na fabricação de instrumentos musicais. Portanto, era esperado de antemão que nem todas as espécies pré-selecionadas fossem adequadas e diversas delas deveriam ser eliminadas quando dados conclusivos fossem disponíveis. Na Tabela 1 estão listadas todas as espécies pré-selecionadas.

Tabela 1 - Lista das espécies testadas.

NOME COMUM	NOME BOTÂNICO	ORIGEM DO MATERIAL
Amapá doce	<i>Brosimum parinarioides</i> subsp. <i>parinarioides</i> Ducke	Curuá-Una (Pará)
Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	Rondônia
Coração de negro *	<i>Swartzia laxiflora</i> Bong ex. Benth	Curuá-Una (Pará)
Coração de negro	<i>Swartzia panacoco</i> (Aubl.) Cowan	Reserva florestal da Superintendência da Zona Franca de Manaus
Envira preta	<i>Onychopetalum amazonicum</i> Fries	Reserva Florestal do Tapajós (Pará)
Faveira folha fina	<i>Piptadenia suaveolens</i> Mig.	Reserva Florestal do Tapajós (Pará)
Freijó verdadeiro	<i>Cordia goeldiana</i> Huber	Curuá-Una (Pará)
Gumbeira *	<i>Swartzia leptopetala</i> Benth	Curuá-Una (Pará)
Jacarandá	<i>Dalbergia spruceanum</i> Benth	Maués (Amazonas)
Macacaúba	<i>Platymiscium duckei</i> Huber	Curuá-Una (Pará)
Marupá	<i>Simaruba amara</i> Aubl.	Curuá-Una (Pará) Reserva florestal da Superintendência da Zona Franca de Manaus
Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i>	Rondônia
Morototó	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Frodin	Curuá-Una (Pará) Reserva florestal da Superintendência da Zona Franca de Manaus
Muiracatiara	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Curuá-Una (Pará)
Muirapixuna	<i>Cassia scleroxylon</i> Ducke	Curuá-Una (Pará)
Munguba grande	<i>Pachira</i> spp.	Curuá-Una (Pará)
Pará-Pará	<i>Jacaranda copaia</i> D.Dow	Curuá-Una (Pará) Reserva florestal da Superintendência da Zona Franca de Manaus
Preciosa *	<i>Aniba canelilla</i> (H.B.K.) Mez	Curuá-Una (Pará) Reserva florestal da Superintendência da Zona Franca de Manaus
Tachi preto folha grande	<i>Tachigalia</i> c.f. <i>rusbyi</i> Harms	Curuá-Una (Pará)
Tauari	<i>Couratari oblongifolia</i> Ducke	Curuá-Una (Pará)
Ucuúba da terra firme	<i>Virola</i> cf. <i>michelii</i> Heckel	Curuá-Una (Pará)
Urucú da mata	<i>Bixa arborea</i> Huber	Reserva Florestal do Tapajós (Pará)

* Espécies de madeiras selecionadas para instrumentos de sopro

4. Amostragem e processamento do material de teste

A coleta de madeira de árvores da região Amazônica é uma tarefa difícil e muitas vezes perigosa, além de ser um empreendimento que consome tempo e capital, por causa da inacessibilidade dos locais, falta de infra-estrutura e dificuldades de transporte.

As áreas de amostragem foram escolhidas com base nos resultados de inventários florestais existentes, a saber, a Reserva Florestal da Superintendência da Zona Franca de Manaus (ZF-II), a floresta de Curuá-Una, ao Norte de Santarém, e a Reserva Florestal de Tapajós, ao Sul de Santarém.

Para cada um destes locais foi enviada uma equipe de campo, devidamente treinada nos procedimentos de amostragem, ou seja, derrubada das árvores. Corte de toras, tratamento preservativo e coleta de material botânico (excisas) para posterior identificação.

De cada espécie coletaram-se amostras pelo menos 3 árvores diferentes. As extremidades das toras foram vedadas com uma mão de tinta à base de asfalto, com a finalidade de evitar secagem excessiva das extremidades e o desenvolvimento de rachaduras nas toras durante o arraste, armazenagem e transporte.

Para arrastar as toras da floresta foram usadas tratores ("Skidders") e para transportá-las até as serrarias foram utilizadas balsas ou caminhão. As serrarias responsáveis pelo desdobramento das toras foram as do Centro de Pesquisa de Produtos Florestais - CPPF/INPA, em Manaus, e da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia - SUDAM, em Santarém. As toras foram serradas de acordo com instruções dos fabricantes de instrumentos musicais, ou seja, grande parte das toras foram cortadas no sentido radial (perfeitamente quarteadas). Todo o material, com exceção das espécies de densidade alta, recebeu tratamento de imersão ou uma solução mista de fungicida e inseticida após a serragem, para evitar o ataque de fungos e insetos durante a pré-secagem ao ar livre nos pátios das serrarias.

5. Metodologia e resultados

5.1. Determinação das características gerais

As características gerais da madeira englobam cor, textura, figura e grã. A fabricação de instrumentos musicais, como já foi mencionado, é altamente conservadora e para cada diferente componente de um instrumento se exige que haja combinações específicas destas características.

Cor: a determinação da coloração visual é um empreendimento subjetivo. A impressão ao olho humano do

amarelo ou laranja, vermelho ou castanho-avermelhado difere de pessoa a pessoa. A determinação exata da cor só é possível com a ajuda de análises colorimétricas. A escolha da cor terá que levar em conta algumas exigências já consagradas pela tradição, por exemplo, como no caso das clarinetas e dos oboés, que são de cor preta. A madeira também tem a tendência a mudar de cor quando exposta à luz ou ao ar, através da oxidação de certas substâncias presentes na sua estrutura. Um exemplo é o Coração de negro, que muda do marrom-amarelado fraco, logo que é cortado, para o preto-marrom após ser exposto à luz e ao ar (Tabela 3). As diferenças de cor entre o alburno e o cerne são também bastante importantes, tendo em vista que não se deve usar o alburno na fabricação de instrumentos de música e que a diferença de cor entre eles facilita a separação. No entanto, muitas das espécies madeiras Amazônicas de cor clara não apresentam essas diferenças entre cerne e alburno, dificultando portanto a diferenciação entre ambos. Além do mais, a espessura da camada do alburno é um fator limitante na seleção das espécies, uma vez que a largura mínima das tábuas para a fabricação de um violão é de 20 cm, por exemplo. Como a madeira tem que ser perfeitamente quarteada, 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 de alburno devem ter um diâmetro de pelo menos 60 cm para permitir a largura necessária.

O método colorimétrico usado na determinação da cor da madeira exige amostras de dimensões 15 x 15 cm. Para cada amostra são medidos valores reflectantes das três cores básicas - vermelho, verde e azul - através de um fotômetro com filtro de leitura de reflectância. Estes valores representam os chamados valores "tri-estimulus" X, Y e Z para 02º - observador - padrão do sistema colorimétrico CIE (Comissão Internacional de Iluminação). A iluminação das amostras é feita através de uma lâmpada XENON com filtro de conversão que simula aproximadamente a luz - padrão D65 recomendada pela CIE. A iluminação é difusa e a amostra é colocada diretamente oposta ao fotômetro. Os valores "tri-estimulus" X, Y e Z são convertidos nas coordenadas tricromáticas X e Y que são suficientes para caracterizar uma cor. Para tornar esses valores compreensíveis dão-se nomes a eles ou, utilizando a tábua de cores DIN da Norma Alemã DIN 6164, pode-se transformá-los em códigos. O código 4:2:3, por exemplo, relaciona índices de matiz, saturação e luminosidade de acordo com a Norma DIN. O índice de matiz vai de 1 a 24,99, começando do amarelo (1), passando pelo vermelho (7), violeta (3), azul (17) e verde (21)

e de volta ao amarelo. O valor mínimo do grau de saturação é o zero e o máximo varia de 7 a 16, dependendo do índice de matiz. A luminosidade de 0 a 10, do branco ideal ao preto ideal. Pode-se ainda, segundo a Norma ASTM D-1535-68, transformar as coordenadas de cromaticidade X e Y nos índices correspondentes do Sistema Munsell.

Tabela 2 - Determinação das cores das madeiras pré-selecionadas

NOME COMUM	COR	CÓDIGO
Amapá doce	Marrom-amarelo pálido	CIE Y,x,y 45.2, 0.388, 0.378 3 : 3 : 2
Cedro	Marrom-amarelado pálido	CIE Y,x,y 35.7, 0.399, 0.371 4 : 3 : 2
Coração de negro	Preto (acromático)	CIE Y,x,y 8.2, 0.333, 0.331 7 : 0 : 6
Envira preta	Amarelo-amarronzado acinzentado claro	CIE Y,x,y 48.4, 0.367, 0.374 2 : 2 : 2
Faveira folha fina	Marrom-amarelo pálido	CIE Y,x,y 35.3, 0.395, 0.381 3 : 3 : 2
Freijó verdadeiro	Marrom-amarelo fraco	CIE Y,x,y 29.1, 0.386, 0.373 3 : 3 : 3
Gombeira (sapwood)	Marrom-amarelo pálido	CIE Y,x,y 41.2, 0.401, 0.391, 3 : 3 : 2
Gombeira (heartwood)	Marrom-amarelo fraco	CIE Y,x,y 24.0, 0.400, 0.371 4 : 3 : 3
Jacarandá	Marrom-acinzentado escuro	CIE Y,x,y 11.3, 0.393, 0.360 5 : 2 : 5
Macacaúba	Marrom fraco	CIE Y,x,y 19.0, 0.425, 0.369 5 : 3 : 3
Marupá	Amarelo amarronzado acinzentado muito claro	CIE Y,x,y 64.8, 0.364, 0.375 2 : 2 : 1
Mogno	Marrom-amarelado pálido	CIE Y,x,y 35.6, 0.400, 0.374 4 : 3 : 2
Morotoló	Marrom-amarelado acinzentado claro	CIE Y,x,y 45.7, 0.360, 0.367 3 : 2 : 2
Muiracatiara (stripes)	Marrom-amarelo pálido	CIE Y,x,y 46.6, 0.387, 0.372 3 : 3 : 2
Muirapixuna	Marrom-amarelado acinzentado escuro	CIE Y,x,y 10.8, 0.375, 0.361 3 : 2 : 5
Munguba	Marrom-amarelado acinzentado claro	CIE Y,x,y 47.6, 0.374, 0.374 3 : 2 : 2
Pará-Pará	Marrom-amarelado acinzentado muito claro	CIE Y,x,y 60.0, 0.357, 0.363 3 : 2 : 1
Preciosa	Marrom-amarelado acinzentado escuro	CIE Y,x,y 11.0, 0.370, 0.366 3 : 2 : 5
Tachi preto folha grande	Marrom-amarelo pálido	CIE Y,x,y 36.3, 0.396, 0.393 3 : 3 : 2
Tauri	Marrom-amarelo muito pálido	CIE Y,x,y 51.3, 0.379, 0.381 3 : 3 : 1
Ucuúba da terra firme	Marrom-amarelo fraco	CIE Y,x,y 31.2, 0.401, 0.379 3 : 3 : 3
Urucú da mata	Marrom-amarelo acinzentado	CIE Y,x,y 47.7, 0.357, 0.356 3 : 2 : 2

Fonte luminosa : Xenon

Iluminação : d/O

Coordenadas da cromaticidade, x,y, e a refletância luminosa, y- de acordo com as normas CIE no segundo nível padrão do sistema colorímetro - pode ser convertido para anotação de cor MUNSELL segundo a Norma ASTM D 1535.

As cores da madeira caem numa faixa relativamente pequena entre o amarelo e o vermelho, com algumas exceções como a "violeta" (*Peltogyne cattingae* Ducke) que é marrom escuro logo depois de cortada, mudando em seguida para o roxo e violeta. Determinando-se a cor da madeira através da colorimetria obtêm-se resultados objetivos sobre a alteração de cor durante o processo de acabamento. As cores das espécies que estão sendo analisadas neste trabalho estão apresentadas na Tabela 2.

FIGURA: comercialmente o termo figura se limita a padrões altamente decorativos, principalmente resultantes da aparência de camadas incrementais durante o crescimento da árvore, irregularidades na orientação das células e distribuição de cor não uniforme. A madeira para instrumentos musicais de cordas deve ser perfeitamente quarteada, o que significa dizer que a figura aparece sobre a superfície radial. A madeira quarteada geralmente apresenta uma quantidade considerável do tecido dos raios, que é em grande parte responsável pelo valor decorativo da madeira. A classificação de figura das espécies pré-selecionadas baseou-se em três características: tecido dos raios; distribuição de cor e irregularidades na orientação das células (Tabela 4).

TEXTURA: As diferenças no aparecimento dos anéis de crescimento, que resultam das variações em tamanho e uniformidade das dimensões das células, constituem a textura da madeira. Ao contrário de muitas madeiras européias a norte-americana, como por exemplo o Carvalho, a maioria das madeiras Amazônicas apresenta textura uniforme. A classificação de textura usada para as espécies pré-selecionadas baseou-se no tamanho dos poros e na visibilidade do parênquima, e foi considerada **grossa:** com poros de diâmetros acima de 300 micron e parênquima abundante visível a olho nú; **média:** com poros de diâmetro entre 100 a 300 micron e parênquima visível sem o auxílio de lentes e **fina:** com poros de diâmetro menor do que 100 micron e parênquima visível apenas com o auxílio de lentes (Tabela 4).

GRÁ: A grã se relaciona às direções gerais das fibras e outros elementos da madeira, podendo ser definida como: direita, espiralada, reversa, ondulada e torcida. Preferencialmente as madeiras utilizadas na confecção de instrumentos musicais devem apresentar grã-direita, no entanto muitas espécies tropicais apresentam grã-cruzada ou entrecruzada.

Tabela 3 - Mudança de cor de "Coração de Negro" em contato com a luz e ar.

COR	CÓDIGO	TEMPO
Marrom amarelado fraco	CIE Y,x,y 21.1, 0.424, 0.380 4 : 3 : 3	11:00
Amarelo-verde	CIE Y,x,y 17.7, 0.306, 0.448 23 : 5 : 4	11:30
Amarelo-verde	CIE Y,x,y 16.1, 0.315, 0.437 23 : 4 : 4	11:40
Verde amarelado forte	CIE Y,x,y 14.6, 0.247, 0.467 22 : 7 : 4	11:50
Verde amarelado forte	CIE Y,x,y 13.9, 0.254, 0.461 22 : 6 : 4	11:55
Verde amarelado forte	CIE Y,x,y 13.4, 0.244, 0.460 22 : 7 : 4	12:00
Marrom acinzentado escuro	CIE Y,x,y 10.3, 0.400, 0.341 6 : 2 : 5	15:00
Marrom acinzentado avermelhado escuro	CIE Y,x,y 9.7, 0.415, 0.323 8 : 3 : 5	16:00
Marrom acinzentado escuro	CIE Y,x,y 8.9, 0.381, 0.340 6 : 2 : 5	18:00
Amarelo amarronzado escuro	CIE Y,x,y 7.3, 0.327, 0.344 2 : 1 : 6	10:00 next day
Marrom amarelo escuro	CIE Y,x,y 7.9, 0.346, 0.348 3 : 1 : 6	11:00
Marrom escuro	CIE Y,x,y 8.0, 0.355, 0.345 5 : 1 : 6	12:00

5.2. Determinação das propriedades físicas

Densidade básica é uma propriedade de grande importância por causa da sua relação direta com outras propriedades, como por exemplo resistência mecânica.

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 o tampo do violino deve ser menor que o daquela usada para o fundo. A madeira usada na fabricação de instrumentos de sopro deve ser pesada e com peso específico de aproximadamente 0.90 (g/cm³).

A densidade básica foi uma das principais propriedades levadas em consideração na pré-seleção das espécies. As Tabelas 5 e 7 mostram a comparação entre os valores dessa propriedade nas madeiras tradicionais e nas nacionais. Os cálculos de densidade básica foram feitos com base nos pesos secos das madeiras e nos volumes destas quando verdes.

Contração (volumétrica, tangencial e radial) e também a relação contração tangencial/contração radial foram determinadas para todas as espécies (tabela 5). Até certo ponto, o valor da contração radial é um indicador do

comportamento da madeira durante a secagem e, quanto menor for este valor (< 2) melhor será a chance de secagem sem ocorrência de defeitos. Os valores absolutos para contração tangencial e radial também são até certo ponto indicadores da estabilidade dimensional da madeira, isto é, quanto menores estes valores, menores serão as mudanças dimensionais com a absorção ou desorção de umidade.

Teor de umidade inicial, é uma propriedade de suma importância tendo em vista que o período de secagem é influenciado por este fator. No entanto, 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 alto teor de umidade inicial são geralmente fáceis de secar sem apresentar defeitos graves.

Tabela 4 - Característica gerais das espécies pré-selecionadas.

NOME COMUM	FIGURA	TEXTURA	GRÁ	LUSTRE
Amapá doce	Distinta, listras conspícuas	média	entrecruzada	fraco
Cedro	Ausente	coarse	direita	médio
Coração de Negro	Listras fracas (anéis de crescimento)	fina	direita to irregular	fraco
Envira preta	Listras fracas (anéis de crescimento)	média	direita	fraco
Faveira folha fina	Listras fracas (anéis de crescimento)	média	cruzada irregular	médio
Freijó verdadeiro	Distinta, listras conspícuas	média	direita	forte
Gombeira	Ausente	fina	direita	médio
Jacarandá	Distinta, listras conspícuas	média	direita to wavy	forte
Macacaúba	Distinta, listras conspícuas	fina	direita to wavy	forte
Marupá	Ausente	média	direita	médio
Mogho	Distinta, listras conspícuas	média	entrecruzada	fraco
Morotoló	Listras fracas (anéis de crescimento)	média	direita	médio
Muiracatiara	Listras irregulares, muito conspícuas	fina	direita	médio
Muirapixuna	Listras fracas (anéis de crescimento)	fina	direita	médio
Munguba	Ausente	média	direita	fraco
Pará-Pará (Caroba)	Ausente	média	direita	fraco
Preciosa	Ausente	fina	direita à irregular	médio
Tachi preto	Distinta, listras onduladas conspícuas	média	irregular	forte
Tauari	Distinta, listras conspícuas	média	direita	médio
Ucuúba da terra firme	Ausente	média e fina	direita	fraco
Urucú da mala	Listras fracas (anéis de crescimento)	média	direita	médio

5.3. Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas foram determinadas em ocasiões anteriores para todas as espécies pré-selecionadas de baixa e média densidades. As espécies selecionadas para instrumentos de sopro são tão densas e pesadas que não é necessário se determinar suas resistências mecânicas. As Tabelas 6 e 7 mostram uma comparação entre as resistências das madeiras tradicionais e das espécies nativas pré-selecionadas para este estudo.

Tabela 5 - Propriedades físicas das madeiras pré-selecionadas.

NOME COMUM	PESO ESPECÍFICO BÁSICO (PESO SECO, VOLUME VERDE) G/CM ³	CONTRAÇÕES			
		VOLUMÉTRICA	TANGENCIAL	RADIAL %	RAZÃO (C _T /C _R)
Amapá doce	0.54	13.3	7.9	4.9	1.61
Cedro	0.37	12.2	6.7	4.3	1.56
Coração de Negro	1.00	17.0	10.0	6.5	1.55
Envira preta	0.54	15.4	8.6	6.0	1.44
Faveira folha fina	0.77	12.7	7.8	4.5	1.75
Freijó verdadeiro	0.49	14.5	8.1	5.7	1.43
Gumbeira	0.83	17.1	10.5	5.8	1.80
Jacarandá	0.92	12.7	8.1	4.2	1.94
Macacaúba	0.74	6.6	4.6	2.6	1.8
Marupá	0.40	10.7	6.6	3.4	1.94
Mogno	0.48	9.9	5.7	3.3	1.73
Morotó	0.51	23.0	13.2	8.1	1.62
Muiracatiara	0.72	12.9	7.4	4.6	1.61
Muirapixuna	1.03	11.0	7.7	4.9	1.61
Munguba	0.50	13.3	10.0	4.5	2.23
Pará-Pará	0.33	16.1	9.0	6.0	1.50
Preciosa	1.02	15.2	8.7	5.7	1.53
Tachi preto	0.63	13.8	8.4	4.7	1.77
Tauri	0.49	11.3	6.4	4.2	1.51
Ucuúba da terra firme	0.50	13.7	8.3	4.6	1.79
Urucú da mata	0.30	9.7	6.1	3.1	1.97

Tabela 6 - Propriedades mecânicas das madeiras pré-selecionadas

Espécies	*peso específico (pêso seco, volume verde) g/cm ³	Flexão estática		Compressão		Tensão		Cisalhamento		Dureza (Janka)		observações
		MOR kg/cm ²	MOE 100kg/cm ²	c // máxima resistência kg/cm ²	c.L. esforço Lim. Prop. kg/cm ²	I max. resistência kg/cm ²	máxima resistência kg/cm ²	para- lela kg	kg			
Amapá doce <i>Brosimum parinaroides</i>	0.57 (0.54)	1043	115	581	82	30	102	734	567			
Cedro <i>Cedrela odorata</i>	0.36* (0.37) (0.43)**	553	70	312	-	-	-	-	227			*wood handbook
Envira preta <i>Onychopeltatum amazonicum</i>	0.84 (0.54)	1265	140	710	64	29	104	822	695			**Technical Series n° 6
Faveira folha fina <i>Piptadenia suaveolens</i>	0.72 (0.77)	1285	134	697	115	51	126	733	785			
Freijó verdadeiro <i>Cordia goeldiana</i>	0.48 (0.49)	932	104	517	62	31	85	608	452			
Macacaúba <i>Platymiscium ulei</i>	0.75**	1039	106	543	111	60	98	914	911			Green conditions **Technical Series n° 6
Marupá <i>Simarouba amara</i>	0.38 (0.40)	664	82	352	47	32	71	439	267			
Mogno <i>Swietenia macrophylla</i>	0.52 (0.48)	562	66	323	72	49	89	517	435			
Morotó <i>Schefflera morototoni</i>	0.39 (0.51)	725	113	405	46	62	105	489	357			
Muiracatiara <i>Astronium lecointel</i>	0.72** (0.75)	1026	115	531	113	69	100	672	684			**Technical Series n° 6
Pará-Pará <i>Jacaranda copaia</i>	0.31 (0.33)	562	89	313	31	29	61	336	194			
Preciosa <i>Aniba canelilla</i>	0.92 (1.02)	1875	181	997	206	28	188	1500	1528			
Tachi preto <i>Tachigalia myrmecophylla</i>	0.53 (0.63)	1070	112	578	93	40	122	762	562			
Tauri <i>Couratari oblongifolia</i>	0.49 (0.49)	905	108	477	62	37	87	542	380			
Ucuúba da terra firme <i>Virola michelii</i>	0.50 (0.50)	872	121	522	60	49	101	671	472			
Urucú da mata <i>Bixa arborea</i>	0.32 (0.30)	555	77	365	40	24	64	396	198			

* WOOD HANDBOOK, FPL, FOR SERVICE U.S. DEPT OF AGRICULTURE N° 72 1974

** ESPECIES FLORESTAIS DA AMAZONIA, SÉRIE TÉCNICA N° 6, PNUD/FAO/IBDF/BRA-46, 1976

OUTROS DADOS: MADEIRAS DA AMAZONIA, VOLUME 1, FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS, IBDF/CNPq, 1981

Tabela 7 - Propriedades físicas e mecânicas das madeiras tradicionais

Espécies (já em uso para instrumentos musicais)	peso específico	Contrações				Propriedades mecânicas										
		nome comum e científico	g/cm ³	volumétrica %	tangencial %	radial %	razão Tang/Rad	flexão estática		compressão		tração		cisalha- mento	dureza (janka)	
								MOR Kg/cm ²	MOE x 1000 Kg/cm ² Z	C//	C.L	T //	T.L		máxima resistência	extremo
								máxima resistência Kg/cm ²	esforço Lim. prop. Kg/cm ²	máxima resistência Kg/cm ²	máxima resistência Kg/cm ²	máxima resistência Kg/cm ²	extremo	lado		
1. <i>Picea abies</i> 2,19 European spruce	$\rho=0.43$ $r_{15}^A=4.7$	12.2	7.8	3.6	2.17	660	110	430	-	900	-	67	-	-		
2. <i>Picea sitchensis</i> 4) Sitka spruce	0.40	11.5	7.5	4.0	2.00	710	92	421	-	-	-	84	-	208		
3. <i>Picea glauca</i> Eastem Canadian spruce	0.40	13.7	8.2	4.3	1.7	721	110	396	41	-	26	81	-	232		
4. <i>Acer spseudoplatanus</i> 1) Sycamore	$\rho=0.59$ $n_{15}^A=0.63$	11.5	8.0	4.7	2.7	688	94	580	-	820	-	90	-	-		
		12.8	8.5	3.0	1.9	950	94	490	-	820	-	90	-	-		
				4.4		1090	114	570	-	1440	-	107	-	-		
5. <i>Acer platanoides</i> 1) European maple	$\rho=0.62$ $n_{15}^A=0.66$	12.1	8.4	2.6	2.6	1370	113	620	-	1000	-	90	-	-		
		13.8	9.0	4.9	1.8	1140	121	590	-	1550	-	124	-	-		
6. <i>Acer saccharum</i> 4) Sugar maple	0.56 (12% m.c.)	14.7	9.9	2.1	2.1	1117	129	553	52	-	-	184	-	659		
7. <i>Acer nigrum</i> 4) Rock maple	0.57	-	8.0	2.0	2.0	920	112	461	70	-	48	125	-	520		
8. <i>Buxus sempervirens</i> European boxwood	0.90	-	-	-	-	1335	-	738	-	-	-	-	-	1282		
9. <i>Carya tomentosa</i> 4) Mockernut hickory	0.64	17.8	11.8	1.4	1.4	1357	156	632	122	-	-	123	-	-		
10. <i>Carya glabra</i> 4) Shellbark hickory	0.62	19.2	12.6	1.6	1.6	1279	133	565	127	-	-	149	-	-		
11. <i>Dalbergia melanoxylon</i> African blackwood	0.95	10.8	7.1	2.4	2.4	1414	210	703	-	-	-	-	-	-		
12. <i>Dalbergia retusa</i> Granadilla	0.90	10.4	6.8	2.3	2.3	-	162	-	-	-	-	-	-	-		
13. <i>Diospyros</i> spp. African ebony	0.90	-	6.0	1.7	1.7	1414	200	632	-	-	-	-	-	-		
14. <i>Caesalpinia echinata</i> Pau Brasil	1.25	14.4	7.9	1.8	1.8	-	320	-	-	-	-	-	-	-		
15. <i>Dalbergia nigra</i> Jacarandá da bahia	0.87	14.1	10.2	2.1	2.1	1383	119	644	-	-	96	139	-	-		

5.4. Aplicação de diferentes métodos na secagem do material de teste

A secagem do material destinado à fabricação de instrumentos musicais deverá ocorrer livre das tensões internas, que geralmente são geradas durante a usinagem e podem causar deformações tais como curvamento e arqueamento. Por esta razão, o método aplicado na secagem é crucial na prevenção destas tensões. Isto significa que a madeira deve secar sob condições que evitem endurecimento e colapso, defeitos que ocorrem normalmente durante os primeiros estágios do processo de secagem.

5.4.1. Secagem de madeira serrada para instrumentos de corda

Na secagem de madeira q :arteada das espécies pré-selecionadas para instrumentos de corda, com espessura de aproximadamente 3 cm e com variação na largura de 17 a 28 cm, foi aplicada uma combinação de três técnicas diferentes, ou seja, secagem ao ar livre, secagem artificial pelo processo convencional e secagem à baixa temperatura (desumidificação).

Após a secagem e o tratamento preservativo nas serrarias do CPPF e SUDAM, a madeira foi empilhada em um galpão coberto para secagem ao ar livre até atingir um teor de umidade de 30 a 40%. Durante o inverno a média de temperatura e umidade relativa do ar chega a 27°C e 90%, respectivamente, na região Amazônica, o que corresponde a um teor de umidade de equilíbrio na madeira de aproximadamente 20%. Essas condições resultaram numa secagem lenta ao ar livre e não foram observados defeitos nas espécies analisadas durante esta fase. Depois da pré-secagem ao ar livre a madeira foi secada em secador convencional, sob condições moderadas, com temperatura não superior a 55°C e umidade relativa decrescendo gradualmente de 85% para 70% durante o processo, chegando a um teor de umidade final de 12 a 14%. No decorrer da fase final a madeira foi empilhada em câmara de aclimatização (desumidificação) sob condições correspondentes a um equilíbrio de teor de umidade de 10%.

Os resultados dessa combinação de processos de secagem foram excelentes para todas as espécies pré-selecionadas para instrumentos de corda, e os defeitos se limitaram a leves rachaduras nas extremidades em algumas poucas espécies.

5.4.2. Secagem de madeiras para instrumentos musicais de sopro

As espécies madeireiras usadas na fabricação de instrumentos de sopro como clarinetas, oboés e outros variam de pesadas a muito pesadas, com uma densidade básica de 0.90 (g/cm³) ou mais. Essas espécies são difíceis de secar exigindo cuidados especiais durante o processo. A secagem ao ar destas madeiras, que apresentam teores de umidade inicial baixas por causa da sua densidade, pode levar até mais de um ano, para se realizar sob as condições climáticas prevalentes na região Amazônica, pois sequer o teor de umidade final de 15%, exigido pelos fabricantes pode ser alcançado sem algum tipo de secagem artificial. As opções para acelerar o processo de secagem são muito limitadas também por causa das dimensões da matéria-prima. O único método adequado nesse caso é secar à baixa temperatura através de desumidificação. Portanto, a secagem das espécies pré-selecionadas Coração de Negro, Gombeira, Preciosa, Muirapixuna e Jacarandá foi realizada em câmaras de desumidificação.

A temperatura e umidade relativa iniciais foram de respectivamente 33°C e 88%. Estas condições foram gradativamente alteradas até uma temperatura final de 35°C e uma umidade relativa de 80% durante o processo de secagem, correspondendo a um teor de umidade final de 15% na madeira. Os maiores defeitos observados na madeira destas espécies foram rachaduras superficiais e rupturas nas extremidades. Coração de Negro e Gombeira, espécies pertencentes ao gênero *Swartzia*, e Preciosa mostraram defeitos negligenciáveis após cuidadosa secagem, entretanto, Muirapixuna mostrou uma forte tendência a rachaduras e rupturas.

5.5. Estabilidade dimensional das madeiras

Todos os instrumentos musicais tem em comum o fato de que na escolha das espécies deve-se levar em consideração não somente sua adequação para a performance do instrumento mas também o fato de que o instrumento é geralmente fabricado sob condições climáticas diferentes do local onde será utilizado. De acordo com Pearson⁹⁾, o pequeno movimento dimensional é uma característica comum a muitas das madeiras que são particularmente adequadas para cada diferente parte dos instrumentos. Arqueamento ou contrações são detalhes que os fabricantes de instrumentos mais temem, desde que eles estão associados a incapacidade funcionais do instrumento, tais como

falhas durante o uso ou encaixes frouxos. Por outro lado, o tom que deveria ser um ponto de máxima importância não o é, mas é considerado um problema à parte pelos fabricantes.

Os fatores que determinam a estabilidade dimensional são a contração e o inchamento (dentro de um intervalo de teor de umidade de 0% até o ponto de saturação das fibras) e a taxa de absorção ou desorção de umidade (higroscopicidade). A última, dentre os outros fatores, depende de extrativos e quanto maior for o teor de extrativos na madeira menor será sua permeabilidade. Além disso, a espessura da tábua tem um efeito "inercial" sobre o tempo necessário para alcançar uma certa faixa do equilíbrio de absorção. Se o inchamento externo é restringido, desenvolvem-se tensões de inchamento, que se opõem à absorção adicional. Em outras palavras, absorção e conseqüente inchamento podem ser impedidos pelas tensões internas da madeira.

Para as necessidades práticas, a importância do teor de umidade se dá no intervalo de 8% a 16%. As condições climáticas em zonas temperadas como no sul do Brasil, na Europa e na América do Norte causam alterações no teor de umidade dentro deste intervalo. No verão, o teor de umidade de equilíbrio (TUE) pode ficar em 15 e 16%, enquanto no inverno, quando os instrumentos são guardados ou usados em locais com aquecimento-central, o TUE pode ficar tão baixo como 8%.

Em casos extremos, como nas condições climáticas prevalentes em Brasília e na Bacia Amazônica, o intervalo do teor de umidade de equilíbrio é diferente. A prolongada estação de seca em Brasília faz com que o teor de umidade da madeira caia até 5 ou 6%, e os músicos são forçados a guardar seus instrumentos até em banheiros para prevenir uma desorção de umidade excessiva e conseqüentes mudanças dimensionais, enquanto que as condições ao ar livre na Amazônia durante o período de chuvas corresponde a um teor de umidade de equilíbrio de 19 a 20%, onde instrumentos devem ser guardados em locais com ar-condicionado, onde o TUE pode ser mantido a 11 ou 12%.

Os exemplos acima mostram o efeito das condições climáticas durante períodos de tempo relativamente longos, no entanto, os músicos também observam a influência de diferentes temperaturas e umidades relativas sobre seus instrumentos durante períodos curtos de tempo, quando viajam de um local para outro.

Além das alterações dimensionais, a qualidade do som também depende do teor de umidade, isto sem mencionar a dependência da estrutura e da densidade da madeira. Greenhell,

trabalhando com madeiras Australianas, chegou à conclusão que o efeito do teor de umidade é apreciável no decaimento logarítmico médio, cujos valores foram 0.0322, 0.0365, 0.0379 a teores de umidade de 8,15 e 19% respectivamente.

Para testar a estabilidade dimensional das 16 espécies pré-selecionadas para instrumentos de corda, foram cortadas tábuas perfeitamente quarteadas com 50 cm de comprimento, 0,5 cm de espessura e com largura média de 26 cm, as quais foram colocadas sob condições climáticas correspondentes a um teor de umidade de equilíbrio de mais ou menos 12%. No entanto, como pode ser visto através dos números nos gráficos e nas figuras 1-4, a maioria das espécies não chegou a esse valor de equilíbrio antes do teste de estabilidade dimensional começar. Após terem atingido o equilíbrio higroscópico, as amostras foram colocadas numa câmara de aclimatização mantendo-se uma temperatura de 29,4°C (85°F) e uma umidade relativa de 90% correspondendo a um teor de umidade de equilíbrio entre 19 a 20%, simulando-se assim as condições climáticas na Amazônia durante o período de chuvas. As amostras foram pesadas e suas alterações dimensionais medidas em intervalos regulares de tempo para obtenção das curvas de absorção e de inchamento durante um período de 18 horas (Fig. 1-4). Em seguida as condições climáticas iniciais da câmara foram alteradas para condições correspondentes a um teor de umidade de equilíbrio de 8% durante 16 horas. Na Tabela 8, está mostrada a contração radial absoluta; o inchamento e a contração expressos em percentagem para 1 por cento de mudança no teor de umidade de duas espécies tradicionais e das espécies brasileiras selecionadas.

Como já foi mencionado anteriormente, a estabilidade dimensional de uma espécie é determinada pelo total de inchamento e contração que ela sofre, pela razão de absorção, desorção e correspondente inchamento/contração dentro de um certo intervalo de teor de umidade (8-16% M.C.). Em comparação com o plátano europeu e o abeto, as espécies brasileiras, com exceção de Pará-pará e Morototó, apresentam valores de contrações absoluta iguais ou mesmo menores do que os das espécies tradicionais. Grandes diferenças no entanto, podem ser observadas entre as espécies brasileiras, no que diz respeito à taxa de absorção e correspondentes mudanças dimensionais. Tauari, Morototó e Freijó, por exemplo, mostram taxas de absorção de umidade de respectivamente 3.0, 4.5 e

4.5%, correspondendo a um aumento na largura das espécies de 0.94, 1.01 e 1.02 por cento e conseqüente percentagem de inchamento para cada 1% de variação de teor de umidade de respectivamente 0.23, 0.23 e 0.24. Os últimos valores são mais altos do que aqueles do plátano europeu e o abeto (respectivamente 0,19 e 0,20) significando que estas madeiras brasileiras são menos estáveis dimensionalmente do que as européias. Por outro lado, espécies como o Cedro, Mogno, Urucú da mata, Munguba, Pará-pará e Marupá apresentam estabilidade dimensionais melhores ou iguais às das madeiras tradicionais.

Tabela 8 - Inchamento e contração radial em % popr 1%. Alteração em teor de umidade.

NOME COMUM	contrações radial absoluta %	absorção inchamento em % por 1% alteração em teor de umidade	desorção contração em % por 1% alteração em teor de umidade
European spruce ⁹⁾	3.6-4.0	0.19	-
European maple ¹¹⁾	3.2-4.9	0.10-0.20	-
Cedro	4.3	0.06	0.09
Mogno	3.3	0.08	0.16
Urucú da Mata	3.1	0.09	0.08
Munguba	4.5	0.12	0.13
Pará-Pará	5.4	0.12	0.09
Marupá	3.4	0.16	0.14
Ucuúba	4.6	0.21	0.21
Amapá Doce	4.9	0.22	0.27
Envira	3.9	0.22	0.23
Faveira	4.5	0.22	0.20
Morototó	8.1	0.23	0.25
Tauari	4.2	0.23	0.20
Freijó	4.1	0.24	0.21
Macacaúba	2.6	0.24	0.24
Tachi preto	4.7	0.27	0.29
Muiracatiara	4.6	0.36	0.23

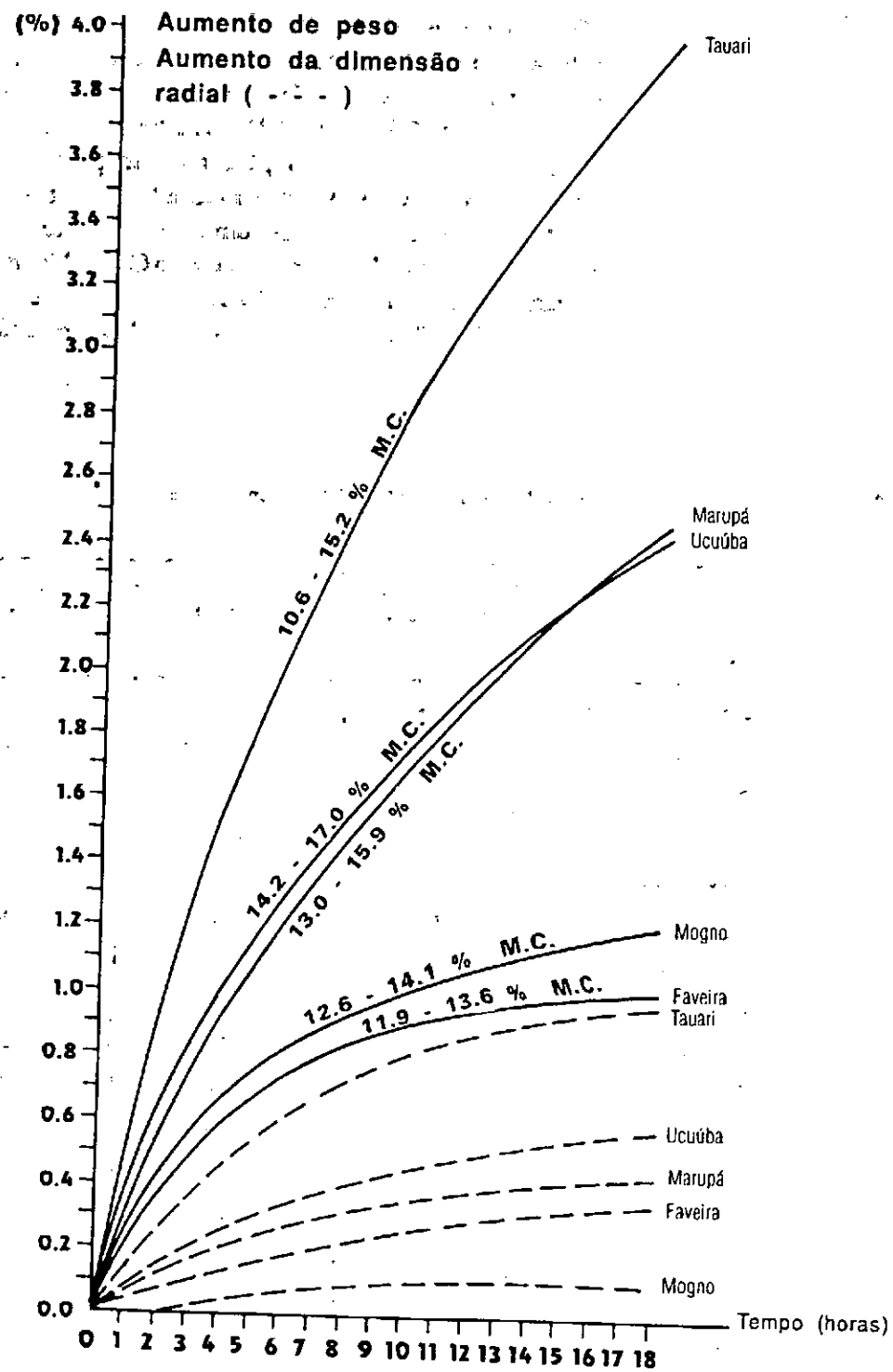


Figura 1 - Curvas de absorção de umidade (estabilidade dimensional)

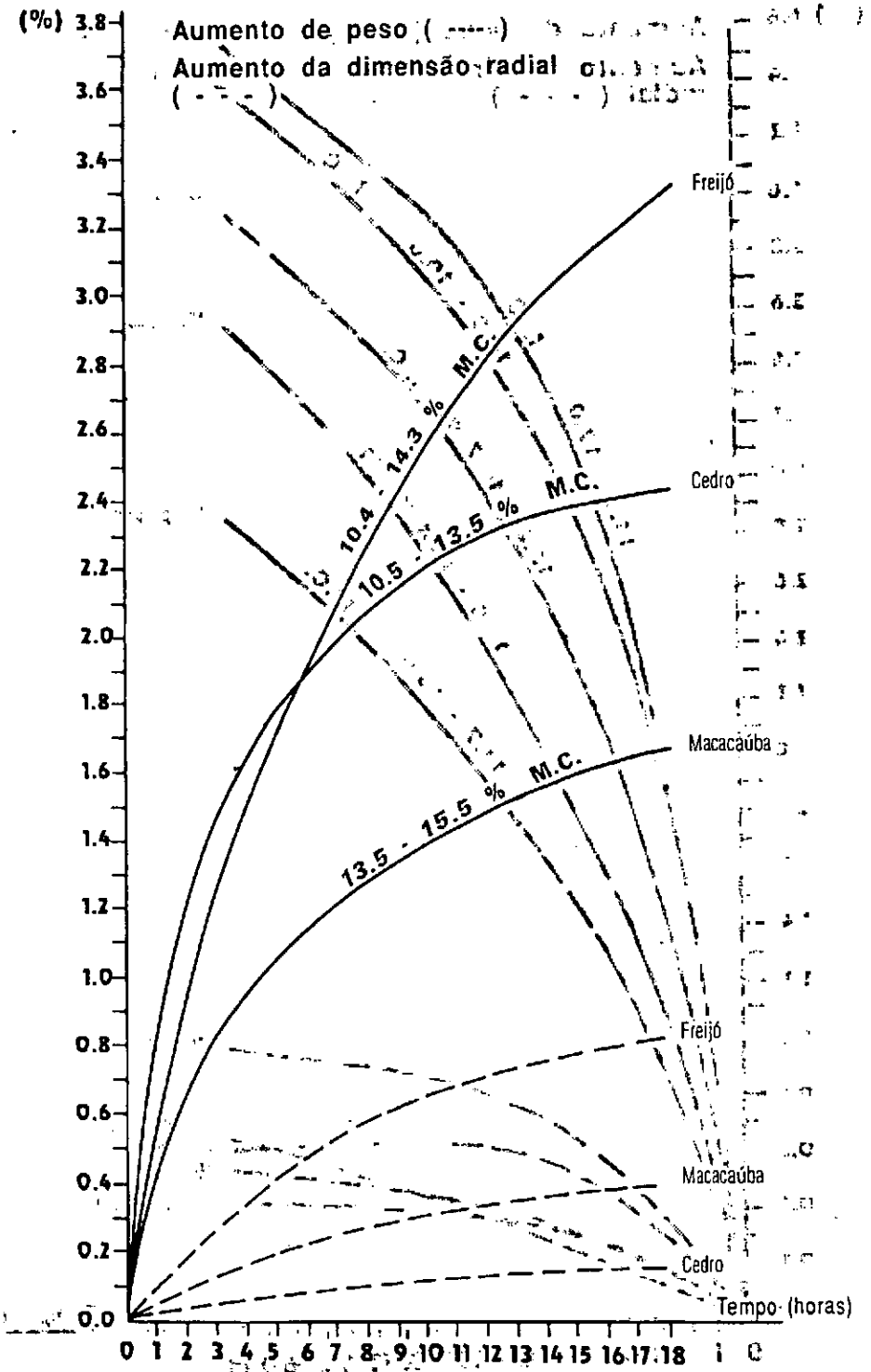


Figura 2 - Curvas de absorção de umidade (estabilidade dimensional)

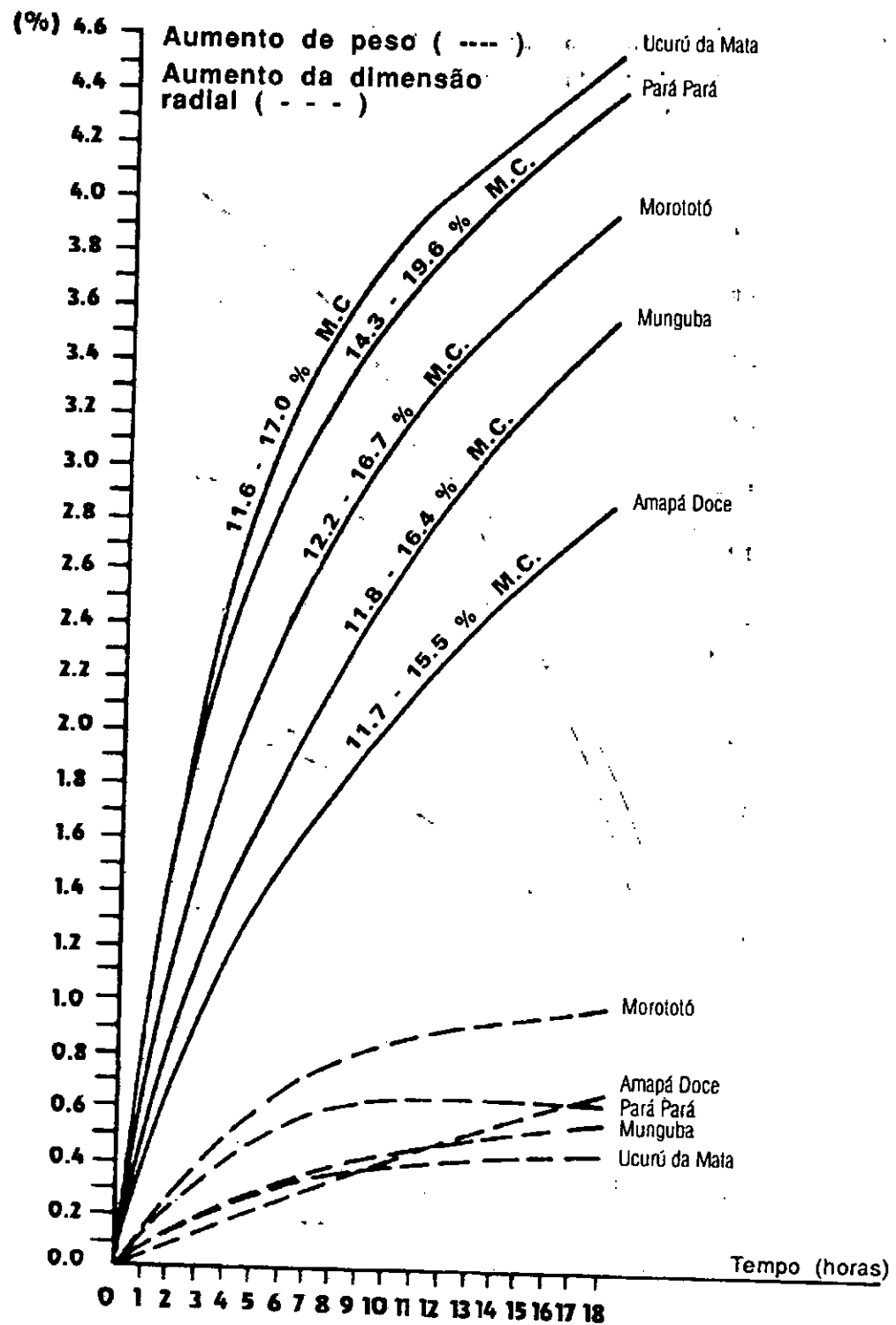


Figura 3 - Curvas de absorção de umidade (estabilidade dimensional)

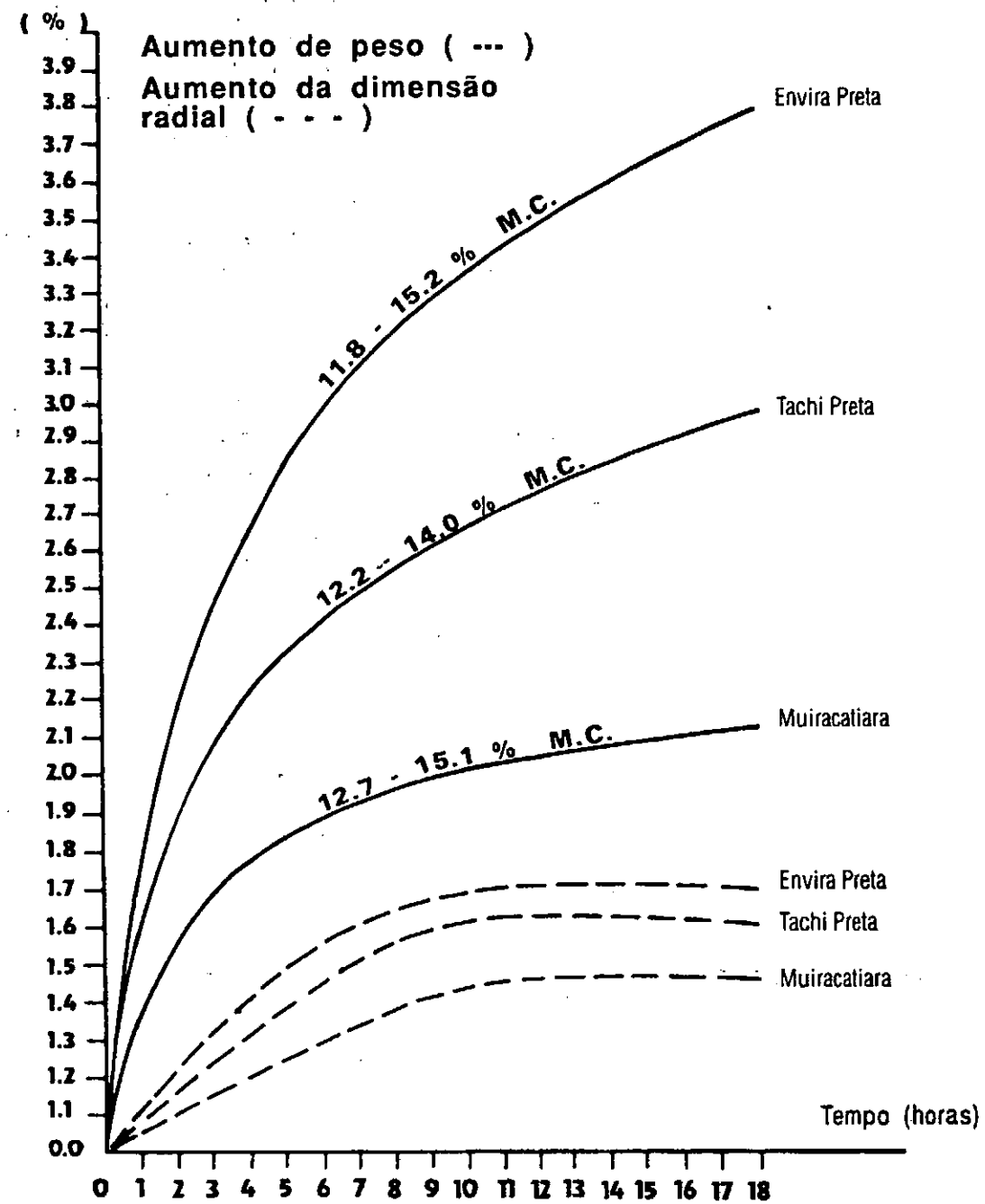


Figura 4 - Curvas de absorção de umidade (estabilidade dimensional)

Uma outra diferença no comportamento de absorção de umidade entre as espécies brasileiras é mostrada pelas curvas das figuras 1-4. Algumas espécies como Tauari e Freijó apresentam aumento mais ou menos uniforme de absorção de umidade durante um período de 18 horas, enquanto outras como Envira-preta, Tachi-preto, Muiracatiara apresentam o maior aumento de absorção e mudanças dimensionais, nas primeiras 6 a 8 horas, após as quais, o aumento de peso e mudanças de dimensões começam a diminuir consideravelmente.

As estabilidades dimensionais das espécies Coração-de-negro, Gombeira, Preciosa, Muirapixuna e Jacarandá-do-Pará, as quais foram selecionadas para instrumentos de cordas foram testadas empiricamente. Após a madeira ter sido secada até um teor de umidade de aproximadamente 15%, confeccionou-se cada peça separadamente (bocais, soquetes, encaixes e guizo) com bastante cuidado para que cada parte, apesar de móvel, encaixasse perfeitamente nas suas partes adjacentes. Em seguida, essas peças foram colocadas em um ambiente com ar-condicionado onde o teor de umidade de equilíbrio da madeira correspondia a 10% e observou-se a reação de cada uma das peças a estas condições ambientais. Apesar de todas as cinco espécies terem uma tendência à rachaduras, as espécies Coração-de-negro, Gombeira e Preciosa não apresentaram nenhum defeito depois de três meses de exposição às condições acima citadas. Entretanto, Muirapixuna e Jacarandá-do-Pará apresentaram rachaduras no guizo.

As espécies do gênero "Swartzia", Coração-de-negro e Gombeira são comparáveis ao Freijó e Tauari nas suas taxas de absorção e desorção (perda) de umidade, o que é uma característica desfavorável se comparada com a tradicionalmente usada Blackwood Africana (*Dalbergia melanoxylon*), conhecida pela sua secagem excepcionalmente lenta devido à presença de depósitos de óleo, que a tornam bastante estável dimensionalmente quando o instrumento está pronto para o uso. Para melhorar a estabilidade dimensional das peças pré-acabadas dos instrumentos fabricados com outras madeiras normalmente aplica-se um tratamento de banho-de-óleo.

5.6. Propriedades acústicas das madeiras pré-selecionadas para instrumentos de cordas

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.

Nos testes conduzidos pelo Laboratório de Produtos Florestais em Brasília, o método de vibração forçada foi utilizado para determinar a frequência natural de vibração (f_r) e o decaimento logarítmico (DL) de dezesseis espécies madeireiras durante a análise de sua adequação para a fabricação de instrumentos de corda.

$$\text{De acordo com Hearmon } ^8): \text{ DL} = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta f}{f_r}$$

onde " f_r " é a frequência de ressonância e f é o diferencial da frequência entre 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 frequência de "meia amplitude" f' e f'' (Fig. 6).

Para realização dos testes foi usado um aparelho que consiste de um excitador eletromagnético com um intervalo de vibração de 0 a 20MHz, com amplitude constante e uma variação na frequência em forma de "degraus" de 0,01HZ. A frequência requerida foi obtida através de um micro-computador que controlava todo o sistema. Um detector de sinais recebe a vibração transmitida através da amostra de madeira (dimensões 30 x 2 x 0,3 cm) e o computador interpreta esses sinais. A posição dos suportes da amostra de madeira (5) varia de acordo com o teste feito para a determinação da fundamental, primeira e segunda harmônicas. Os resultados dos testes podem ser obtidos através de um osciloscópio, de um delineador de gráficos ou de uma impressora conectada ao computador (Fig. 5).

O conceito do teste é simples: o excitador faz com que a amostra de madeira vibre a uma frequência que vai aumentando progressivamente e quando esta frequência coincide com a frequência natural da madeira a amostra entra em ressonância. Isto induz um sinal de alto valor no detector, o qual é lido pelo computador e transmitido para o osciloscópio, o delineador gráfico ou, numericamente, para uma impressora.

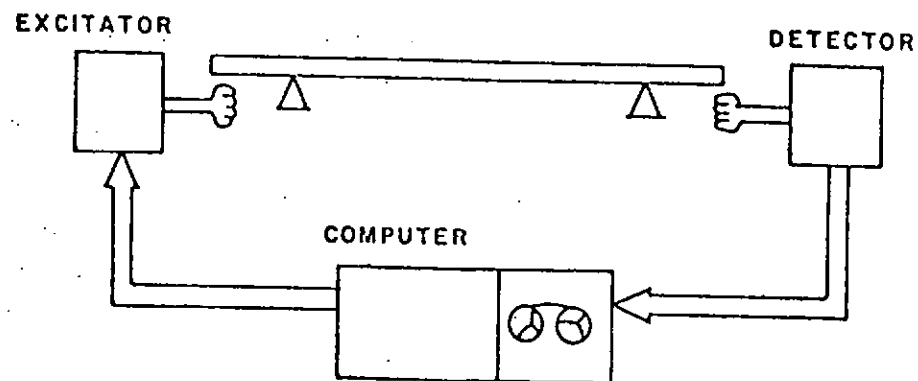


Figura 5 - Diagrama do equipamento usado para realização dos testes de frequência

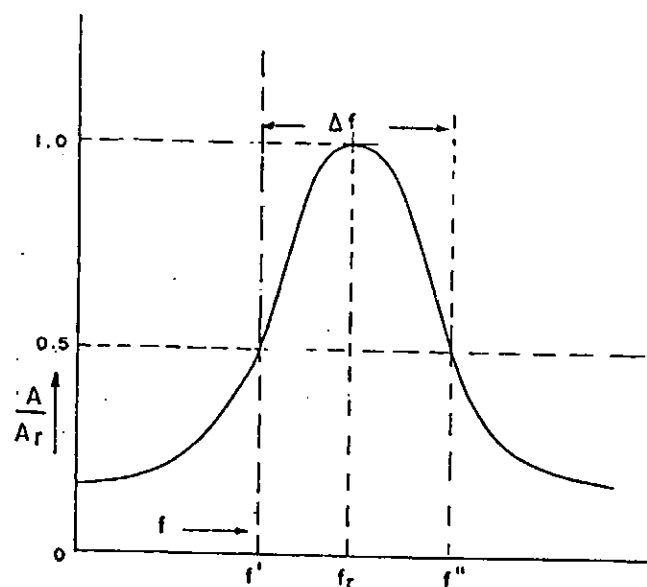


Figura 6 - Curva de frequência

Os resultados dos testes de acústica estão mostrados na Tabela 9, onde os valores da frequência de ressonância (f_r), o decaimento logarítmico (DL) e o peso específico a 12% de teor de umidade (ρ) das espécies brasileiras são comparadas aos valores de plátano europeu e do abeto, que são as madeiras tradicionalmente utilizadas na confecção do tampo e do fundo de violinos, violas, etc. De acordo com Rabelo (Laboratório de Produtos Florestais, Brasília), os seguintes critérios podem ser usados na seleção de espécies madeireiras para a fabricação de tampos e fundos:

Tabela 9 - Propriedades acústicas das espécies pré-selecionadas para instrumentos de cordas (segundo RABELO, LPF, Brasília)

NOME COMUM	Fr Hr	Fr 1º Hr	Fr 2º Hr	DL m/se c.	C m/sec.	Pêso específico a base de 12% T.U. g/cm³
I Espécies adequadas para fabricação do "tampo"						
European spruce	187	514	1014	0.021	4977	0.33-0.47- 0.68-0.47
Envira Preta	186	504	992	0.019	4945	0.62
Freijó	195	535	1044	0.014	5173	0.51
Marupá	170	466	921	0.021	4519	0.43
Morotó	202	549	1064	0.020	5361	0.52
Munguba	178	478	934	0.021	4733	0.57
Pará-Pará	187	480	938	0.022	4978	0.44
Urucú-da Mata	172	485	950	0.020	4572	0.34
II Espécies adequadas para fabricação do "fundo"						
European maple	148	404	784	0.026	3928	0.53-0.63-0.79* 0.56-0.66-0.81**
Amapá doce	186	575	998	0.023	4959	0.69
Cedro	142	406	800	0.025	3770	0.44
Faveira folha fina	170	469	912	0.020	4526	0.82
Jacarandá	170	496	962	0.017	4599	1.02
Macacaúba	176	518	1014	0.017	4675	0.75
Mogno	166	446	871	0.019	4422	0.53
Muiracatiara	180	488	952	0.020	4804	0.76
Tachi-preto	176	484	942	0.020	4687	0.72
Tauari	172	472	926	0.027	4571	0.52
Ucuúba	186	508	1012	0.023	4955	0.64

*Bergahorm

**Spitzahorm

Parâmetros

Fr = Frequência de ressonância

Fr 1º = Frequência de ressonância (1st harmônica)

Fr 2º = Frequência de ressonância (2nd harmônica)

DL = Decaimento logarítmico

C = Velocidade de propagação do som

Tampo de violinos ou violões: Fr > 170 Hz
DL < 0,021
< 0,40 g/cm³

Fundos de violinos e violas: Fr > 150 Hz
DL < 0,030
> 0,40 g/cm³

Fundos de violão: Fr > 150 Hz
DL < 0,020
> 0,60 g/cm³

Aplicando-se esses critérios aos resultados dos testes, as espécies podem ser sub-divididas em dois grupos, um grupo formado de madeiras favoráveis à confecção de tampos, no qual se encaixam as espécies Freijó, Marupá, Morototó e Munguba. O segundo grupo deve ser dividido em espécies adequadas para fundos de violinos e espécies para fundos de violões. Amapá-doce, Tauari e Ucuúba são três espécies adequadas para a confecção de fundos de violinos e Faveira folha fina, Macacaúba e Muiracatiara seriam mais favoráveis para fundos de violões.

5.7. Propriedades de usinabilidade das espécies madeiras pré-selecionadas

Uma das mais significativas características da madeira é a facilidade com a qual ela pode ser trabalhada. As espécies madeiras variam amplamente entre si no que diz respeito ao seu comportamento quando submetidas às ferramentas de corte, de maneira que é necessário se utilizar métodos sistemáticos para se determinar suas adequações para um determinado uso onde a qualidade do acabamento superficial é um fator de grande importância. Apesar da qualidade do acabamento superficial de qualquer instrumento musical ser um fator extremamente importante para os padrões industriais, as propriedades de usinabilidade da madeira, que influenciam bastante este fator, não são de fato o critério principal como o seriam em outro tipo de indústria. Isto acontece parcialmente porque existem outros requisitos mais importantes, e também porque há uma considerável parcela de trabalho manual a ser feito, como, por exemplo, na fabricação de um violino.

Dentro do contexto deste projeto de pesquisa, no entanto, foi considerado bastante importante a obtenção de dados de comparação sobre o comportamento das espécies sob investigação no que tange à usinabilidade.

Os testes de usinabilidade conduzidos durante as análises concluíram aplainamento, fresamento, furação, lixamento e torneamento, sendo todos eles operações muito comuns na fabricação de produtos madeireiros. Os equipamentos usados para a realização desses testes consistiram em máquinas de tamanho comercial. Para se chegar a resultados compatíveis usados em cada operação foram mantidos constantes para todas as espécies, o que significa dizer que provavelmente poderia ter-se obtido melhores resultados usando-se ângulos de corte diferentes para as facas, diferentes velocidades de aplainamento, outros tipos de broca na furação e lixas mais finas no lixamento.

Os testes de torneamento foram realizados somente com as espécies selecionadas para instrumentos de sopro. Esses testes foram aplicados em espécies com teor de umidade variando de 11 a 14%.

Os parâmetros usados em cada operação de usinabilidade estão mostrados no Apêndice I e os resultados foram compilados na Tabela 10. Na classificação da qualidade do acabamento superficial foram estabelecidas quatro diferentes classes:

Classe de qualidade	Porcentagem entre amostras sem defeitos e amostras com defeitos desprezíveis
Excelente	> 85%
Bom	70 - 84%
Regular	50 - 69%
Ruim	< - 50%

Tabela 10 - Propriedades de usinabilidade

Espécies	Aplainamento		Frosamento		Furação			Lixamento		Torneamento		
	quali- dade	óseito predom- inante	quali- dade	defeito predomi- nante	Qualidade			Qualidade n° de fixa		predom- inant defect	quali- dade	defeito predom- inante
					lopo	radial	tangencial	80	100			
Amapá doce	regular	grã felpuda	excelente	lasca- mento	excelente	excelente	regular	regular	regular	grã felpuda	-	-
Cedro	excelente	nenhum	excelente	nenhum	bom	bom	bom	bom	excelente	nenhum	-	-
Coração de Negro	excelente	lasca- mento	excelente	nenhum	excelente	excelente	excelente	excelente	excelente	nenhum	excelente	nenhum
Envira Preta	excelente	lasca- mento	excelente	grã felpuda	excelente	excelente	excelente	bom	excelente	nenhum	-	-
Faveira Folha Fina	regular	lasca- mento	excelente	lasca- mento	excelente	bom	bom	bom	excelente	nenhum	-	-
Freijó	excelente	lasca- mento	bom	grã felpuda	excelente	bom	excelente	bom	excelente	nenhum	-	-
Gombela	excelente	nenhum	excelente	nenhum	excelente	excelente	excelente	excelente	excelente	nenhum	excelente	nenhum
Jacarandá	excelente	nenhum	excelente	nenhum	excelente	excelente	excelente	excelente	excelente	nenhum	excelente	nenhum
Macaçaúba	excelente	nenhum	excelente	nenhum	excelente	excelente	excelente	bom	excelente	nenhum	excelente	nenhum
Marupá	excelente	nenhum	excelente	grã felpuda	bom	bom	regular	bom	excelente	nenhum	-	-
Mogno	regular	lascamen- to + grã felpuda	regular	grã felpuda	excelente	excelente	bom	regular	regular	grã felpuda	-	-
Morotó	excelente	lasca- mento	excelente	grã felpuda	regular	regular	regular	regular	regular	grã felpuda	-	-
Muiracatiara	regular	lasca- mento	bom	grã felpuda	excelente	bom	bom	ruim	regular	grã felpuda	excelente	nenhum
Muirapixuna	excelente	nenhum	excelente	nenhum	excelente	excelente	excelente	excelente	excelente	nenhum	excelente	nenhum
Munguba Grande	excelente	lasca- mento	excelente	nenhum	excelente	excelente	bom	bom	excelente	nenhum	-	-
Pará-Pará	excelente	lascamen- to + grã felpuda	regular	grã felpuda	regular	regular	regular	regular	regular	grã felpuda	-	-
Preciosa	excelente	nenhum	excelente	nenhum	excelente	excelente	excelente	excelente	excelente	nenhum	excelente	nenhum
Tachí preto	excelente	lasca- mento	regular	grã felpuda **	bom	bom	bom	bom	bom	burned surface	-	-
Tauari	excelente	lasca- mento	excelente	nenhum	bom	regular	regular	bom	excelente	nenhum	-	-
Ucuúba	excelente	lasca- mento	bom	lasca- mento	excelente	bom	bom	bom	bom	grã felpuda	-	-
Ucuúba da mata	excelente	lasca- mento	bom	lasca- mento	excelente	regular	regular	bom	excelente	nenhum	-	-

** Superfície queimada pelo conteúdo da resina

Tabela 11 - Agrupamento das propriedades das espécies tradicionais e das espécies brasileiras.

ESPECIES	cor	figura	textura	grã	peso específico g/cm ³	Contrações				Flexão estática		compressão // Kg/cm ²	absorção inchamento radial por 1%	frequência de resonância Hz	decai- mento loga- rístico g/cm ³	peso específico (12%C base.) g/cm ³
						vol %	tang %	radial %	T/R	mor Kg/cm ²	moé Kg/cm ² x10 ³					
European spruce	marrom amarelado	listras compiscuas	média	direita	$r_p=0.43$ $r_{15}=0.47$	12.0	7.8	3.6	2.1	660	110	430	0.19	187	0.021	0.47
European maple	branco amarelado	listras compiscuas	uniforme fina	direita	$r_p=0.58$ $r_{15}=0.66$	11.5 12.8 13.8	8.0 8.5 9.0	3.0 4.4 4.9	2.7 1.9 1.8	1120 950 1090 1370	94 114 113 121	580 490 570 620	0.10.0.20	148	0.026	0.63
Amapá doce	marrom amarelado pálido	poucas bandas distintas	média	entrecruza da	0.54	13.3	7.9	4.9	1.6	1043	115	581	0.22	186	0.023	0.69
Codro	marrom amarelado pálido	ausente	grossa	direita	0.37 0.43	12.2	6.7	4.3	1.6	553 714	70 81	312 446	0.06	142	0.025	0.44
Coração de Negro	preto (scromático)	listras compiscuas fracas	fina	direita irregular	1.00	17.0	10.0	6.5	1.5	-	-	-	-	-	-	-
Envira preta	amarelo amaranizado acinzentado claro	listras compiscuas fracas	média	direita	0.54	15.4	8.6	6.0	1.4	1265	140	710	0.22	186	0.019	0.62
Favelra	marrom amarelado pálido	listras compiscuas fracas	média	cruzada irregular	0.77	12.7	7.8	4.5	1.7	1285	134	697	0.22	170	0.020	0.82
Freijó	marrom amarelo fraco	distinta, listras compiscuas fracas	média	direita	0.49	14.5	8.1	5.7	1.4	932	104	517	0.24	195	0.014	0.51
Gombeira	preto	ausente	fina	direita	0.83	17.1	10.5	5.8	1.8	-	-	-	-	-	-	-
Jaracandá	marrom acinzentado escuro	distinta, listras compiscuas fracas	média	direita	0.92	12.7	8.1	4.2	1.9	-	-	-	-	170	0.017	1.02

cont.

ESPÉCIES	cor	figura	textura	grã	peso específico g/cm ³	Contrações				Flexão estática		compressão // Kg/cm ²	absorção inchamento radial por 1%	frequência de resonância Hz	decal- mento loga- rítico g/cm ²	peso específico (12%C base.) g/cm ³
						vol %	tang %	radial %	T/R	mor Kg/cm ²	moe Kg/cm ² x 10 ³					
Macauba	marrom fraco	distinta, listras conspicuas	finas	direita	0.74	6.6	4.6	2.6	1.8	1039	106	543	0.24	176	0.017	0.75
Marupá	amarelo amarronzado acinzentado muito claro	ausente	média	direita	0.40	10.7	8.8	3.4	1.9	664	82	352	0.16	170	0.021	0.43
Mogno	marrom amarelado pálido	poucas bandas distintas	média	entrecruza da	0.48	9.9	5.7	3.3	1.7	562	66	323	0.08	166	0.019	0.53
Morototó	marrom amarelado- acinzentado fraco	listras conspicuas fracas	média	direita	0.51	23.0	13.2	8.1	1.6	725	113	405	0.23	202	0.020	0.52
Muiracatiara	marrom amarelado pálido	listras conspicuas irregulares escuras	finas	direita	0.72	12.9	7.4	4.6	1.6	1026	115	531	0.36	180	0.020	0.76
Muirapixuna	marrom amarelado acinzentado escuro	listras conspicuas fracas	finas	direita	1.03	11.0	7.7	4.9	1.6	-	-	-	-	-	-	-
Munguba	marrom amarelado acinzentado claro	ausente	média	direita	0.50	13.3	10.0	4.5	2.2	-	-	-	0.12	178	0.021	0.57
Pará-Pará	amarelo amarronzado acinzentado muito claro	ausente	média	direita	0.33	16.1	9.0	6.0	1.5	562	89	313	0.12	187	0.022	0.44
Preciosa	marrom amarelado acinzentado escuro	ausente	finas	direita irregular	1.02	15.2	8.7	5.7	1.5	1875	181	997	-	-	-	-
Tachi preto	marrom amarelado pálido	distinta, listras conspicuas fortes	média	irregular	0.63	13.8	8.4	4.7	1.8	1070	112	578	0.27	176	0.020	0.72
Tauari	amarelo muito pálido	distinta, listras conspicuas	média	direita	0.49	11.3	6.4	4.2	1.5	905	108	477	0.23	172	0.027	0.52
Ucuúba	amarelo amarronzado fraco	ausente	média para finas	direita	0.50	13.7	8.3	4.8	1.8	972	121	522	0.21	188	0.023	0.64
Urucú	marrom amarelo acinzentado claro	listras conspicuas fracas	média	direita	0.30	9.7	6.1	3.1	2.0	555	77	365	0.09	172	0.020	0.34

6. Discussão

Na introdução deste trabalho foi mencionado o fato de que seria praticamente impossível que dentre as milhares de espécies de madeiras tropicais da Amazônia não se encontrassem pelos menos algumas poucas aptas a substituir as tradicionalmente usadas na confecção dos diferentes componentes de instrumentos musicais. À primeira vista, tal afirmação parece ser verdadeira e os resultados deste projeto de pesquisa confirmaram que um certo número de espécies tropicais selecionadas tinham características e propriedades muito semelhantes às das espécies tradicionalmente usadas. No entanto, ficou claro, durante o desenrolar da pesquisa, que seria difícil encontrar novas espécies para cada componente específico de um instrumento que apresentasse a mesma combinação de características encontradas nas madeiras tradicionais.

Dentro deste conceito, uma questão é levantada: o que é necessário para se produzir um instrumento musical de boa qualidade? Um violino ou violão adequado para ser utilizado por solistas profissionais necessita ser de primeira qualidade, no que diz respeito ao som produzido e à aparência, enquanto violinos usados por estudantes em conservatórios ou violões destinados ao uso popular podem ser de qualidade inferior. Em outras palavras, um instrumento musical não precisa necessariamente ter a qualidade de um violino Stradivarius, de um violão Orige ou Romanillos, ou de um piano Steinway para satisfazer às necessidades de um grande número de pessoas que querem simplesmente tocar um desses instrumentos. Considerando a questão sob esse ponto de vista, os resultados do projeto mostram-se muito promissores, apresentando diversas espécies e combinações de espécies com potencial para fabricação de instrumentos de boa qualidade, os quais serão detalhados adiante, quando violões fabricados com espécies Amazônicas forem discutidos.

Baseando-se nas características e propriedades das madeiras Amazônicas foi feita a seguinte seleção para os diferentes componentes de instrumentos musicais:

1. Instrumento de corda

a. Violinos, violas, etc.

Tampo: Freijó, Marupá, Morototó e Munguba

Fundo e Lados: Amapá doce, Tauari e Ucuúba

Escala, cauda, Queixeiros: Coração de negro, Gombeira

Arco: Louro chumbo (*Licaria cayennensis* Kosterm).

b. Violões

Tampo: Freijó, Marupá, Morototó e Munguba

Fundo e Lados: Faveira folha fina, Jacarandá do Pará,

Macacaúba, Muiracatiara

Braço: Cedro, Mogno e Urucú da mata

Escala e Ponte: Coração de negro, Gombeira e Muirapixuna

2. Instrumentos de sopro

a. Clarinetas, Oboés, Flautas : Coração de negro, Gombeira, Preciosa e Muirapixuna

b. Fagotes : Muiracatiara

3. Pianos

Tampo de ressonância: Marupá, Morototó

Mecanismo: Faveira folha fina, Munguba, Tauari e Ucuúba

Todas as espécies selecionadas para tampos de instrumentos de corda possuem combinações de características e propriedades favoráveis, exceto pela estabilidade dimensional do Freijó e do Morototó. Amapá-doce, Tauari e Ucuúba poderão ser adequadas para fundos e lados de violinos, apesar da estabilidade dimensional do Tauari ser quase a mesma do Freijó. As espécies que apresentam-se mais indicadas para fundos de violões são Faveira folha fina, Jacarandá do Pará, Macacaúba e Muiracatiara.

Coração de negro e Gombeira possuem praticamente as mesmas propriedades que o ébano e podem substituí-lo nas escalas, caudas e queixeiros de violinos e para escalas e pontes de violões. Para violões, Muirapixuna poderá eventualmente também ser usada.

As espécies Cedro, Mogno e Urucú da mata são adequadas para a confecção de braços, cabeças e Joelho do violão, por causa da sua leveza, resistência e estabilidade dimensional.

Já foi anteriormente mencionado que a única madeira realmente adequada para arcos é o Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata*), no entanto, uma outra espécie foi encontrada possuindo quase as mesmas propriedades, entre as quais, grã relativamente direita e módulo de elasticidade na flexão estática acima de 300×10^3 kg/cm². Esta espécie foi o Louro-chumbo (*Licaria cayennensis*).

Para instrumentos de sopro, como clarinetas, oboés e flautas, as espécies Coração de negro, Gombeira e Preciosa parecem ser as mais favoráveis. Todas as três apresentam densidade alta combinada com textura fina e produzem um excelente acabamento no que diz respeito a torneamento e furação. Além do mais, Coração de negro e Gombeira tornam-se pretas quando expostas à luz e ao ar. Um ponto a favor da Preciosa é a sua estabilidade, causada por depósitos de óleo que não existem nas outras duas espécies. No entanto, de acordo com a opinião de um fabricante de clarinetas do Sul do Brasil, um banho de óleo poderá resolver este problema destas espécies. A espécie Muiracatiara deverá ser usada na fabricação de protótipos de fagotes.

Fabricantes de pianos no Sul do Brasil têm mostrado interesse no Marupá para o tampo de ressonância. Outras quatro espécies adequadas para a construção dos outros mecanismos dos instrumentos serão usadas por um fabricante para testes, a saber, Faveira folha fina, Munguba, Tauari e Ucuúba.

As reações dos artesões e fabricantes de instrumentos têm sido bastante favoráveis e vários pedidos de fornecimento das madeiras testadas para a fabricação de protótipos de todos os tipos de instrumentos musicais têm chegado ao Centro de Pesquisa de Produtos Florestais do INPA, Manaus.

Para testar a validade das espécies selecionadas para os diferentes componentes de instrumentos musicais, foi decidido que o violão clássico seria o instrumento escolhido para os testes e que seria confeccionado um certo número deles no CPPF, usando-se diferentes combinações de espécies. Até o presente momento foram confeccionados três unidades com a mesma forma e dimensões, o mesmo sistema de suporte do tampo e o mesmo tipo de cordas metálicas.

Foram usadas as seguintes combinações de espécies:

Violão n°	Tampo	Fundo & Lados	Braço	Escala & Pontes
01	Marupá	Faveira Folha Fina	Freijó	Gombeira
02	Marupá	Muiracatiara	Freijó	Gombeira
03	Freijó	Tauari	Urucú da mata	Gombeira

Os critérios usados na seleção das amostras foram: acústica, firmeza para resistir ao movimento das cordas no braço e no corpo do instrumento sem provocar distorção, e leveza (peso) para manter o equilíbrio do instrumento nas mãos do músico.

Os três instrumentos foram testados por músicos profissionais e suas opiniões se concentraram sobre intensidade, equilíbrio sonoro, deterioração, sensibilidade, ressonâncias indesejáveis, peso e brilho de cada instrumento.

O resultado das observações podem ser sumarizados como segue:

Características	Violão		
	1	2	3
Intensidade	moderado	bom	bom
Equilíbrio sonoro	baixo/fraco	bom	bom
Deterioração	rápido	bom	bom
Sensibilidade	duro	ótimo	regular
Ressonâncias	nada	nada	nada
Peso	pesado	médio	leve
Brilho	mal	bom	ótimo

Os resultados dos testes falam por si próprios. O violão nº 1 foi considerado o de menor qualidade. Os violões 2 e 3 foram considerados bons instrumentos, apesar das opiniões se dividirem sobre qual dos dois seria o melhor.

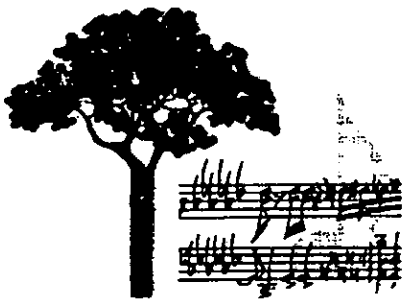
A pesquisa deverá ter continuação e mais violões serão confeccionados para se chegar a melhor combinação de espécies para estes instrumentos. A princípio, Freijó não deverá ser mais usada para a confecção do braço por ser uma madeira pesada. Combinações como Munguba ou Morototó para tampo e Macacaúba e Muiracatira para fundo e lados serão usados, enquanto o braço deverá ser feito de Mogno, Cedro ou Urucú-da-mata.

Como mencionado anteriormente, os protótipos serão fabricados por artesões e no futuro, por fabricantes no Sul do país.

7. Conclusões

Resumidamente, as conclusões são:

1. O projeto envolvendo a pesquisa de diversas espécies tropicais da Amazônia com aptidões para a fabricação de instrumentos musicais pode ser considerado um sucesso. Baseando-se nos resultados desta pesquisa um considerável número de espécies podem ser selecionadas como potencialmente aptas para a fabricação de instrumentos musicais, considerando-se no entanto, que a palavra final deve ser dada por fabricantes e músicos.
2. A maioria das espécies envolvidas neste projeto estão disponíveis em volumes suficientes nos diferentes Estados da Amazônia, garantindo um suprimento contínuo de matéria-prima no futuro.
3. Apesar de tecnólogos em madeira não estarem familiarizados com as peculiaridades das exigências feitas por luthiers e fabricantes de instrumentos musicais, este projeto vem provar que eles podem oferecer uma grande ajuda na seleção de possíveis substitutas para espécies tradicionais usadas durante eras para este propósito.



Apêndices

Apêndice 1

Especificações das máquinas usadas em testes de trabalhabilidade

1. Plaina desengrossadeira - Bäuerle, modelo DM 63

Velocidade de rotação do cabeçote: 3450 rpm

Ângulo de corte: 30°

Velocidade de alimentação: 20m/min.

Alimentação manual

Plano de corte: radial

Marcas de faca: 8 por (cm)

Número de facas: 2

Profundidade de corte: 2.0 mm

2. Tupia - Bäuerle, modelo SFM/DF90 (um (1) eixo)

Velocidade de rotação: 12000 rpm

Ângulo de corte: 15°

Alimentação manual

Plano de corte: tangencial

3. Furadeira horizontal - Bäuerle, modelo LBO

Velocidade de furação: 3400 rpm

Broca: 2 canais de corte retos

Alimentação manual

Diâmetro: 12 mm (topo e tangencial)

15 mm radial

4. Lixadeira de 2 rolos de cinta larga - Timesavers, Inc., Mod. 352 - 2HD

Velocidade da lixa no 1º rolo: 1920 m/min.

Velocidade da lixa no 2º rolo: 1290 m/min.

Velocidade de alimentação: 12 m/min.

Profundidade de lixamento 1,0 mm

Tipo de lixa no 1º rolo: nº 80

Tipo de lixa no 2º rolo: nº 100

5. Torno - Marca

Velocidade de rotação do eixo: 734 rpm

Fichas técnicas das madeiras analisadas

- a). tampos, tábuas harmônicas; mecanismo de piano:
 - freijó verdadeiro
 - marupá
 - munguba grande
 - morototó
- b). fundos e lados de violinos e violões; fagote; mecanismo de piano:
 - amapá-doce
 - tauari
 - ucuúba da terra firme
 - jacarandá
 - macacaúba
 - muiracatiara
 - faveira-folha-fina
- c). braços:
 - cedro
 - mogno
 - urucu da mata
- d). clarinetas, oboés, flautas; acessórios e partes para instrumentos de corda:
 - coração-de-negro
 - gombreira
 - muirapixuna
 - preciosa

Pachira spp.
Munguba grande

Origem: Curuá-Una, Pará

Características gerais:

Densidade básica: 0.50 g/cm³; figura ausente; textura média; grã-direita; brilho fraco; cor marrom-amarelô acinzentado claro.

Usinabilidade: A madeira apresenta excelentes resultados em todas as operações de usinagem (aplainamento, fresamento, furação e lixamento (lixa nº 100).

Estabilidade dimensional: Contração radial absoluta 4.5%; absorção; inchamento em % por 1% alteração em teor de umidade 0.12; desorção contração em 1% alteração em teor de umidade 0.13. Esta madeira tem alta estabilidade dimensional

Propriedades acústicas: Frequência de ressonância 178; frequência de ressonância (1ª harmônica); frequência de ressonância (2ª harmônica); 934; decaimento logarítmico 0.021; velocidade de propagação do som 4733.

Aplicações: Tampos de violões e violinos, mecanismo do piano.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Seas Condições de Umidade a 12% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compres- são paralela	Compressão perpendicular	Cisalha- mento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Faces (kg)
0.50	10.0	4.5	13.3								

LEGENDA: ABC
A - Valor médio
B - Desvio padrão
C - Número de amostras

Cordia goeldiana

Freijó verdadeiro

Origem: Curuá-Una, Pará

Características gerais:

Densidade básica: 0.49 g/cm³; Figura: distintas listas conspícuas. Textura média; grã-direita; brilho forte; cor marrom-amarelo fraco.

Usinabilidade: A madeira é fácil para trabalhar e apresenta bons a excelentes resultados em todas as operações de usinagem (aplainamento, fresamento e lixamento).

Estabilidade dimensional: Contração radial absoluta 4.1%; absorção inchamento por 1% alteração em teor de umidade 0.24; desorção contração em % por 1% alteração em teor de umidade 0.21. Embora a madeira seja menos estável do que Abeto e Plátano europeu é adequada para tampos de instrumentos de corda.

Propriedades acústicas: Frequência de ressonância 195; frequência de ressonância (1ª harmônica) 535; frequência de ressonância (2ª harmônica) 1044 decaimento logarítmico 0.014; velocidade de propagação do som 5137.

Aplicações: Tampos de violões, violinos, violas, etc.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Condições de Umidade 912% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compressão paralela	Compressão perpendicular	Cisalha - mento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. ltd(kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Faces (kg)
0.49	8.1	5.7	14.5	104	932	517	62	85	608	542	

LEGENDA: ABC

A - Valor médio

B - Desvio padrão

C - Número de amostras

Simaruba amara

Marupá

Origem: Curuá-Una, Pará; Reserva Florestal da Superintendência da Zona Franca de Manaus.

Características gerais:

Densidade básica: 0.40 g/cm³; figura ausente; textura média; grã-direita; brilho médio; cor amarelo-amarronzado acinzentado muito claro.

Usinabilidade: É uma madeira fácil de trabalhar e apresenta excelentes resultados nas operações de aplainamento, fresamento e lixamento, e é de bom a regular na furação.

Estabilidade dimensional: Contração radial absoluta: 3.4%; absorção: inchamento em % por 1% alteração em teor de umidade 0.16; desorção contração em % por 1% alteração em teor de umidade 0.14. Essa madeira tem alta estabilidade dimensional:.

Propriedades acústicas: Frequência de ressonância 170; frequência de ressonância (1ª harmônica) 466; frequência de ressonância (2ª harmônica) 921; decaimento logarítmico 0.21; velocidade de propagação do som 4519.

Aplicações: Tampos de violões e violinos, tampa de ressonância do piano.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Condições de Umidade 912% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compressão paralela	Compressão perpendicular	Cisalha - mento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Faces (kg)
0.40	6.6	3.4	10.7	82	664	352	47	71	439	287	

LEGENDA: ABC

A - Valor médio

B - Desvio padrão

C - Número de amostras

Schefflera morototoni

Morototó

Origem: Curuá-Una, Pará; Reserva Florestal da Superintendência da Zona Franca de Manaus.

Características gerais:

Densidade básica: 0.51 g/cm³; figura com listras fracas nos anéis de crescimento; textura média; grã-direita; brilho médio; cor marrom-amarelo acinzentado claro.

Usinabilidade: Comportamento da madeira em aplainamento excelente, em fresamento ruim, furação regular. Recomenda-se usar uma lixa mais fina (> nº 100).

Estabilidade dimensional: Contração radial absoluta 8.1%; absorção inchamento em 1% por 1% alteração em teor de umidade 0.23; desorção contração em % por 1% alteração em teor de umidade 0.25. É uma madeira dimensionalmente menos estável do que o abeto e o plátano europeu.

Propriedades acústicas: Frequência de ressonância 202; frequência de ressonância (1ª harmônica) 549; frequência de ressonância (2ª harmônica) 1064; decaimento logarítmico 0.020; velocidade de propagação do som 5361.

Aplicações: Tampos de violões e violinos, tampa de ressonância do piano.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Condições de Umidade 51% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compres- são paralela	Compressão perpendicular	Cisalha- mento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Faces (kg)
0.51	13.2	8.1	23.0	113	725	405	46	105	489	357	

LEGENDA: ABC

A - Valor médio

B - Desvio padrão

C - Número de amostras

Brosimum parinarioides

Amapá doce

Origem: Curuá-Una, Pará

Características gerais:

Densidade básica: 0.54 g/cm³; figura: distintas listras conspícuas; textura média: grã entrecruzada; brilho fraco; cor marrom-amarelo pálido.

Usinabilidade: Comportamento da madeira nas operações de aplainamento e fresamento: regular. Muito provável que em outros ângulos de corte e troca de velocidade (rpm) apresentarão melhores resultados; resultados de furação: topo e radial excelentes: tangencial regular: lixamento com lixa nº 80 e 100 apresentam resultados regulares. Recomenda-se usar uma lixa mais fina (> nº 100).

Estabilidade dimensional: Contração radial absoluta: 4.9%; absorção: inchamento em % por 1% alteração em teor de umidade 0.22; desorção: contração em % por 1% alteração em teor de umidade: 0.27. Resultados mostraram menor estabilidade dimensional que abeto e plátano europeu.

Propriedades acústicas: Frequência de ressonância 186; frequência de ressonância (1ª harmônica) 514; frequência de ressonância (2ª harmônica) 998; decaimento logarítmico 0.023; velocidade de propagação do som 4959.

Aplicações: Fundos e lados de violinos, violas, etc.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Condições de Umidade 51% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compres- são paralela	Compressão perpendicular	Cisalha- mento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Faces (kg)
0.54	7.9	4.9	13.3	115	1043	581	82	102	734	567	

LEGENDA: ABC

A - Valor médio

B - Desvio padrão

C - Número de amostras

Couratari oblongifolia

Tauari

Origem: Curuá-Una, Pará

Características gerais:

Densidade básica: 0.49 g/cm³; figura distinta, listras conspícuas; textura média; grã-direita; brilho médio; cor marrom-amarelo muito pálido.

Usinabilidade: Madeira relativamente fácil para trabalhar e apresenta excelentes resultados em aplainamento e fresamento; regular até boa em furação e boa em lixamento (lixa nº 100).

Estabilidade dimensional: Contração radial absoluta 4.2%; absorção: inchamento em % por 1% alteração em teor de umidade 0.23; desorção contração em % por 1% alteração em teor de umidade 0.20.

Propriedades acústicas: Frequência de ressonância 172; frequência de ressonância (1ª harmônica) 472; frequência de ressonância (2ª harmônica) 926, decaimento logarítmico 0.027; velocidade de propagação do som 4571.

Aplicações: Fundos de violinos, mecanismo do piano.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Condições de Umidade a 12% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compressão paralela	Compressão perpendicular	Cisalha - mento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Facas (kg)
0.49	6.4	4.2	11.3	A	108	905	477	62	87	542	380

LEGENDA: ABC

A - Valor médio

B - Desvio padrão

C - Número de amostras

Virola cf. michelli

Ucuúba da terra firme

Origem: Curuá-Una, Pará.

Características gerais:

Densidade básica: 0.50 g/cm³; figura ausente; textura média a fina; grã-direita; brilho fraco; cor marrom-amarelo fraco.

Usinabilidade: A madeira apresenta bom a excelentes resultados em todas as operações de usinagem (aplainamento, fresamento, furação e lixamento); (lixa nº 100).

Estabilidade dimensional: Contração radial absoluta 4.6%; absorção inchamento em % por 1% alteração em teor de umidade 0.21; desorção contração em 1% por 1% alteração em teor de umidade 0.21. A madeira tem estabilidade dimensional ligeiramente inferior à espécie abeto e plátano europeu.

Propriedades acústicas: Frequência de ressonância 186; frequência de ressonância (1ª harmônica) 508; frequência de ressonância (2ª harmônica) 1012 decaimento logarítmico 0.023; velocidade de propagação do som 4955.

Aplicações: Fundos de violinos, mecanismo do piano.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Condições de Umidade a 12% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compressão paralela	Compressão perpendicular	Cisalha - mento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Facas (kg)
0.50	8.3	4.6	13.7	A	121	972	522	60	101	671	472

LEGENDA: ABC

A - Valor médio

B - Desvio padrão

C - Número de amostras

Dalbergia spruceana
Jacarandá

Origem: Maués (Amazonas)

Características gerais:

Densidade básica: 0.92 g/cm³; figura distinta, listras conspícuas; textura média; grã-direita a onduladas; brilho forte; cor marrom-acinzentada escura.

Usinabilidade: A madeira apresenta excelentes resultados em todas as operações de usinagem (aplainamento, fresamento, furação [topo, tangencial, radial] torneamento e lixamento).

Estabilidade dimensional:

Propriedades acústicas: Frequência de ressonância 170; frequência de ressonância (1ª harmônica) 496; frequência de ressonância (2ª harmônica) 962; decaimento logarítmico 0.017; velocidade de propagação do som 4599.

Aplicações: Fundos e lados de violões.

Platymiscium ulei
Macacaúba

Origem: Curuá-Una, Pará.

Características gerais:

Densidade básica: 0.74 g/cm³; figura distinta, listras conspícuas; textura fina; grã-direita a ondulada; brilho forte; cor marrom fraco.

Usinabilidade: Madeira fácil para trabalhar e apresenta excelentes resultados em todas as operações de usinagem (aplainamento, fresamento, furação [topo, tangencial, radial] torneamento e lixamento).

Estabilidade dimensional: Contração radial absoluta 2.6%; absorção inchamento em % por 1% alteração em teor de umidade 0.24; desorção contração em % por 1% alteração em teor de umidade 0.24.

Propriedades acústicas: Frequência de ressonância 176; frequência de ressonância (1ª harmônica) 518; frequência de ressonância (2ª harmônica) 1014; decaimento logarítmico 0.017; velocidade de propagação do som 4676.

Aplicações: Fundos e lados de violões.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Condições de Umidade a 12% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compressão paralela	Compressão perpendicular	Cisalhamento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Faces (kg)
0.92	8.1	4.2	12.7								

LEGENDA: ABC
A - Valor médio
B - Desvio padrão
C - Número de amostras

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Condições de Umidade a 12% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compressão paralela	Compressão perpendicular	Cisalhamento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Faces (kg)
0.74	4.6	2.6	6.6	106	1039	543	111	98	914	911	

LEGENDA: ABC
A - Valor médio
B - Desvio padrão
C - Número de amostras

Astronium lecointei
Muiracatiara

Origem: Curuá-Una, Pará.

Características gerais:

Densidade básica: 0.72 g/cm³; figura apresentando listras irregulares; textura fina; grã-direita; brilho médio; cor marrom pálido.

Usinabilidade: Em virtude das listras escuras existentes no tecido lenhoso, os resultados nas operações de usinagem tornam-se variáveis. Provavelmente pode-se conseguir melhores resultados usando-se outros ângulos de corte e velocidade (rpm) em aplainamento e fresamento. Recomenda-se usar lixa mais fina (> nº 100).

Estabilidade dimensional: Contração radial absoluta 4.6%; absorção: inchamento em % por 1% alteração em teor de umidade 0.36; desorção contração em % por 1% alteração em teor de umidade 0.23. A **Estabilidade dimensional:** da madeira mostra-se inferior as madeiras europeias abeto e plátano.

Propriedades acústicas: Frequência de ressonância 180; frequência de ressonância (1ª harmônica) 488; frequência de ressonância (2ª harmônica) 952; decaimento logarítmico 0.020; velocidade de propagação do som 4804.

Aplicações: Fundos de violões, fagotes.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Condições de Umidade a 12% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compressão paralela	Compressão perpendicular	Cisalhamento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Faces (kg)
0.72	7.4	4.6	12.9	Seca	115	1026	531	113	100	662	604

LEGENDA: ABC
A - Valor médio
B - Desvio padrão
C - Número de amostras

Piptadenia suaveolens
Faveira folha Fina

Origem: Reserva Florestal do Tapajós.

Características gerais:

Densidade básica: 0.77 g/cm³; textura média; grã cruzada irregular; brilho médio; figura: apresenta listras nos anéis de crescimento; cor marrom-amarelo pálido.

Usinabilidade: Comportamento da madeira em aplainamento: regular. Muito provável que em outro ângulo de corte e troca de velocidade (2 rpm) darão melhores resultados. Resultados de fresamento, furação e lixamento (lixa nº 100): bons a excelentes.

Estabilidade dimensional: Contração radial absoluta: 4.5%; absorção, inchamento em % por 1% alteração em teor de umidade: 0.22; desorção contração em % por 1% alteração em teor de umidade: 0.20. A madeira é ligeiramente menos instável que plátano europeu.

Propriedades acústicas: Frequência de ressonância 170; frequência de ressonância (1ª harmônica); frequência de ressonância (2ª harmônica) 912; decaimento logarítmico 0.020; velocidade de propagação do som 4526.

Aplicações: Fundos de violão, mecanismo do piano.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Condições de Umidade a 12% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compressão paralela	Compressão perpendicular	Cisalhamento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Faces (kg)
0.77	7.8	4.5	12.7	Seca	134	1285	697	115	126	733	785

LEGENDA: ABC
A - Valor médio
B - Desvio padrão
C - Número de amostras

Cedrela odorata

Cedro

Origem: Rondônia

Características gerais:

Densidade básica: 0.43 g/cm³; figura ausente; textura grossa; grã-direita; brilho fraco; cor marrom-amarelo claro.

Usinabilidade: Madeira fácil para trabalhar, mostrando bons resultados em todas as operações de usinagem (aplainamento, fresamento, furação e lixamento).

Estabilidade dimensional: Contração radial absoluta 4.3%; absorção inchamento em 1%, alteração em teor de umidade 0.06; desorção contração em 1% alteração em teor de umidade 0.09. A madeira tem melhor estabilidade dimensional do que o abeto que é plátano europeu.

Propriedades acústicas: Frequência de ressonância 142; frequência de ressonância (1ª harmônica) 406; frequência de ressonância (2ª harmônica) 800; decaimento logarítmico 0.025; velocidade de propagação do som 3770.

Aplicações: Braço de violão, violino, viola, etc.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Condições de Umidade a 12% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compressão paralela	Compressão perpendicular	Cisalhamento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Faces (kg)
0.49	6.4	4.3	12.2	Sm	81	714	446	58	76	450	324

LEGENDA: ABC

A - Valor médio

B - Desvio padrão

C - Número de amostras

Swietenia macrophylla

Mogno

Origem: Rondônia.

Características gerais:

Densidade básica: 0.48 g/cm³; figura distinta, listras conspícuas; textura média; grã entrecruzada; brilho fraco; cor marrom-amarelado pálido.

Usinabilidade: É uma madeira relativamente difícil para trabalhar, por ser grã entrecruzada. Seu comportamento na operação de aplainamento: regular. Provavelmente outros ângulos de corte e troca de velocidade (rpm) apresentarão resultados melhores. Resultados de furação são de bons até excelentes. Recomenda-se usar uma lixa mais fina (> n^o 100).

Estabilidade dimensional: Contração radial absoluta 3.3%; absorção: inchamento em % por 1% alteração em teor de umidade 0.08; desorção contração em % por 1% alteração em teor de umidade 0.16. Essa madeira tem alta estabilidade dimensional.

Propriedades acústicas: Frequência de ressonância 166; frequência de ressonância (1ª harmônica) 446; frequência de ressonância (2ª harmônica) 871; decaimento logarítmico 0.019; velocidade de propagação do som 4422.

Aplicações: Braço de violão.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Condições de Umidade a 12% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compressão paralela	Compressão perpendicular	Cisalhamento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Faces (kg)
0.48	5.7	3.3	9.9	Sm	66	562	323	72	89	517	435

LEGENDA: ABC

A - Valor médio

B - Desvio padrão

C - Número de amostras

Bixa arborea
Urucú da mata

Origem: Curuá-Una, Pará.

Características gerais:

Densidade básica: g/cm³; figura apresentando listras em madeira (anéis de crescimento); textura média; grã-direita; brilho médio; cor marrom-amarelo acinzentado.

Usinabilidade: Comportamento dessa madeira nas operações de aplainamento, fresamento e lixamento (lixa nº 100), bom a excelente. Os resultados em furação variaram de ruim (tang.) até excelente (topo). Recomenda-se usar brocas bem afiladas e troca de velocidade (rpm).

Estabilidade dimensional: Contração radial absoluta 4.6%; absorção: inchamento em % por 1% alteração em teor de umidade 0.21; desorção contração em % por 1% alteração em teor de umidade 0.21. A madeira tem estabilidade dimensional ligeiramente inferior a espécie abeto e plátano europeu.

Propriedades acústicas: Frequência de ressonância 172; frequência de ressonância (1ª harmônica) 485; frequência de ressonância (2ª harmônica) 950; decaimento logarítmico 0.20; velocidade de propagação do som 4572.

Aplicações: Braço de violão.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Condições de Umidade a 12% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compressão paralela	Compressão perpendicular	Cisalhamento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Facas (kg)
0.30	6.1	9.7	9.7	77	555	365	40	64	396	198	

LEGENDA: ABC

A - Valor médio

B - Desvio padrão

C - Número de amostras

Swartzia laxiflora
Coração de negro

Origem: Curuá-Una, Pará; Reserva Florestal da SUFRAMA.

Características gerais: Textura fina; grã-direita a irregular; brilho fraco, apresentando figura com listras fracas nos anéis de crescimento; cor preto (acromático).

Usinabilidade: A madeira apresenta excelentes resultados em todas as operações de usinagem (aplainamento, fresamento, furação (topo, tang., radial, torneamento e lixamento).

Estabilidade dimensional:

Propriedades acústicas:

Aplicações: Teclado, cauda, queixeiros. fabricação de clarinetas, oboés e flautas.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Condições de Umidade a 12% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compressão paralela	Compressão perpendicular	Cisalhamento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Facas (kg)
1.00	10.0	6.5	17.0								

LEGENDA: ABC

A - Valor médio

B - Desvio padrão

C - Número de amostras

Swartzia leptopetala
Gombeira

Origem: Curuá-Una, Pará.

Características gerais:

Densidade básica: 0.83 g/cm³; figura ausente; textura fina; grã-direita; brilho médio; cor preta (acromático).

Usinabilidade: Essa madeira apresenta excelentes resultados em todas as operações de usinagem (aplainamento, fresamento, furação (topo, tang., rad.), torneamento e lixamento).

Estabilidade dimensional:

Propriedades acústicas:

Aplicações: Teclado, cauda, queixeiros, fabricação de clarinetas, oboés e flautas.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Seca Condições de Umidade a 12% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compres- são paralela	Compressão perpendicular	Cisalha- mento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Faces (kg)
0.83	10.5	5.8	17.1								

LEGENDA: ABC

A - Valor médio

B - Desvio padrão

C - Número de amostras

Cassia scleroxylon
Muirapixuna

Origem: Curuá-Una, Pará.

Características gerais:

Densidade básica: 1.03 g/cm³; figura apresentando listras irregulares, muito conspícuas; textura fina; grã-direita; brilho médio; cor marrom-amarelado acinzentado escuro.

Usinabilidade: A madeira apresenta excelentes resultados em todas as operações de usinagem (aplainamento, fresamento, furação (topo, tang., rad.), torneamento e lixamento (lixa nº 100)).

Estabilidade dimensional:

Propriedades acústicas:

Aplicações: Fabricação de clarinetas, oboés e flautas.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Seca Condições de Umidade a 12% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compres- são paralela	Compressão perpendicular	Cisalha- mento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Faces (kg)
1.03	7.7	4.9	11.0								

LEGENDA: ABC

A - Valor médio

B - Desvio padrão

C - Número de amostras

Aniba canelilla

Preciosa

Origem: Curuá-Una, Pará; Reserva Florestal da Superintendência da Zona Franca de Manaus.

Características gerais:

Densidade básica: 1.02 g/cm³; figura ausente; textura fina; grã-direita a irregular; brilho médio; cor marrom-amarelo acinzentado escuro.

Usinabilidade: A madeira apresenta excelentes resultados em todas as operações de usinagem (aplainamento, fresamento, furação, tornamento e lixamento).

Estabilidade dimensional:-

Propriedades acústicas:

Aplicações: Fabricação de clarinetas, oboés e flautas.

Propriedades físicas e mecânicas:

Propriedades físicas				Condições de Umidade a 12% da Madeira	Propriedades mecânicas						
Densidade básica (g/cm ³)	Contração				Flexão estática		Compressão paralela	Compressão perpendicular	Cisalhamento	Dureza	
	Tang.	Radial	Volumétrica		Módulo de elasticidade X 1000 (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Tensão no limite pro. (kg/cm ²)	Tensão de ruptura (kg/cm ²)	Extremos (kg)	Faces (kg)
1.02	8.7	5.7	15.2	181	1875	997	206	188	1500	1528	

LEGENDA: ABC

A - Valor médio

B - Desvio padrão

C - Número de amostras



Evaluation of Selected Amazonian Wood Species for Musical Instrument Manufacture

1. Introduction

Brazil is an importer of woods from abroad for the manufacture of stringed and wood wind musical instruments. This was the reason for developing a project to find suitable Brazilian substitutes for imported species. Systematic, scientific research to determine the suitability of new wood species for musical instrument manufacture is almost unknown in the world, so Brazil is really breaking ground in this field.

The manufacture of musical instruments is very much a matter of tradition and more an art than an industrial process. Manufacturers and builders of these instruments are very conservative in their wood selection and use of species, that for centuries have been favoured for different components.

The idea of the Brazilian National Art Foundation (FUNARTE) to investigate substitutes for the traditional imported woods may be considered as an example of Brazilian initiative.

It is very unlikely that among the thousands of tropical species that a few, suitable to replace the traditional ones for the different components of musical instruments, can not be found.

The research project was in fact a multilateral effort with FUNARTE as general coordinator and the Forest Products Research Center (CPPF) at the National Institute for Amazon Research (INPA), Manaus, the Forest Products Laboratory at the Brazilian Institute for Forest Development (IBDF), Brasília, and the Wood Products Department at the Technological Research Institute (IPT), São Paulo, as executing agencies. The later was responsible for the testing of a number of different species and the results of this investigation will be published separately. The project was financed by the Financing Agency for Studies and Projects (FINEP).

The main objective of the research was the selection of Brazilian wood species suitable to substitute imported woods for the manufacture of musical instruments, their components and accessories, by:

1. a comparative analysis of the characteristics and properties of these species,
2. the manufacture of prototypes of the different stringed and wood wind instruments with those species selected based on the research results of the previous investigation (sub. 1),
3. the testing of those prototypes by musicians during a period of one year.

The investigation of twenty one Amazonian wood species, i.e. sixteen for stringed and five for wood wind instruments, by the Forest Products Center at INPA in Manaus and LPF, Brasília, involved the pre-selection of these species, sampling in the forest and preparation of test material, determining of general characteristics, basic physical and mechanical properties, drying behaviour, dimensional stability, machining and acoustical properties.

The first phase of the project covered the pre-selection and testing of Brazilian species. The manufacture of prototypes and the testing of these instruments by musicians are planned for the second and third phases of the project. This paper covers the first phase which terminated during a meeting with manufacturers and instrument makers in November 1985, during which, based on the first phase research results, promising species were selected for the different stringed and wood wind instrument components.

2. Traditional woods in use for musical instruments

2.1. Woods for Stringed Instrument Components (violins, violins and cellos)

The belly ("table") is traditionally made from European spruce *Picea abies* and as a substitute sitka spruce *Picea sitchensis*, is used.

The back, neck, scroll and ribs are made from sycamore *Acer pseudoplatanus* or European maple *Acer platanoides*. Maple and sycamore are preferred because, apart from their figure they carve well, an important factor in making scrolls. The main reason given for preferring spruce for the belly and maple for the back is that, after correct shaping the fundamental notes of the two plates have the right relationship with each other, the back giving a note one tone higher than the belly. The sound post and bar are usually made of the same timber as the belly, spruce. Blocks and linings, are sometimes of spruce, but also of Willow *Salix alba*. The fingerboard traditionally is made of African ebony or Mauritius ebony. Most ebonies are species of the genus "Diospyros". It is essential that the timber for fingerboards is hard and heavy, since the strings cut into the wood during playing. The tailpiece is made either of ebony, boxwood or rosewood. Chinrests are also of ebony or boxwood. Pegs are made of boxwood, rosewood or ebony. They are required to be very smooth so that they turn easily, without being too loose. The bridges are made of sycamore or european maple and in the USA Canadian rock maple *Acer nigrum* (9).

The only wood considered to be really suitable for bows is Brazil wood (Pau Brasil Pernambuco) *Caesalpinia echinata*. Brazil wood is exceptional in having the required weight, flexibility and high strength properties (especially MOE and MOR in static bending) (9). It is extremely difficult to find a substitute for this wood that has the same property combination.

Woods chosen for the construction of the classical guitars are Alpine spruce from the forests of Switzerland and Germany and Sitka spruce from North America for the table (soundboard), Brazilian rosewood for the sides and back, mahogany or Honduras cedar for the neck and ebony for the fingerboard (7).

2.2 Wood Wind instruments (clarinets and oboes)

All the species of timber which have been found to be best for wood wind instruments have a very high density and a reasonably fine texture. Course texture, open grain and a medium to low density have a detrimental effect on the tone. It is essential that the timber has a good finish, especially in turning, boring and drilling. However, ease of machining is not considered to be a primary factor and the species which give the best results are often those, which by normal standards, are considered very difficult to machine. Dimensional stability is also important, since any change in the dimension of the bore can alter the pitch of the instrument, which is subjected to considerable variation of moisture content owing to it being blown by mouth (9). One of the major species used in the manufacture of clarinets and oboes is African Blackwood, *Dalbergia melanoxylon*.

3. Pre-selection of brazilian wood species for different musical instruments and their components

The criteria used in the pre-selection of Brazilian woods species to be sampled for testing and the manufacture of prototypes were:

general anatomical characteristics, such as color, grain, texture and figure; physical properties, such as wood density (basic specific gravity) and shrinkage; mechanical properties, such as modulus of rupture and modulus of elasticity in static bending, compression parallel and perpendicular to the grain, shear and hardness. Most of the species selected were pre-tested for other purposes, but usually a small amount of test material per specie was used, insufficient to arrive at reliable conclusions in regard to their possible use in musical instrument manufacture. Therefore, it was expected that not all pre-selected species would be suitable and several would have to be eliminated when conclusive data become available. The pre-selected wood species are listed in Table 1.

Table 1 - List of species tested

COMMON NAME	BOTANICAL NAME	ORIGIN OF MATERIAL
Amapá doce	<i>Brosimum parinarioides</i> subsp. <i>parinarioides</i> Ducke	Curuá-Una (Pará)
Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	Rondônia
Coração de negro	<i>Swartzia laxiflora</i> Bong ex. Benth	Curuá-Una (Pará)
Coração de negro	<i>Swartzia panacoco</i> (Aubl.) Cowan	Forestry reserve of the Superintendency of the Manaus Free Zone
Envira preta	<i>Onychopetalum amazonicum</i> Fries	Tapajós Forestry Reserve
Faveira folha fina	<i>Piptadenia suaveolens</i> Mig.	Tapajós Forestry Reserve
Freijó verdadeiro	<i>Cordia goeldiana</i> Huber	Curuá-Una (Pará)
Gumbeira *	<i>Swartzia leptopetala</i> Benth	Curuá-Una (Pará)
Jacarandá	<i>Dalbergia spruceanum</i> Benth	Maués (Amazonas)
Macacaúba	<i>Platymiscium duckei</i> Huber	Curuá-Una (Pará)
Marupá	<i>Simaruba amara</i> Aubl.	Curuá-Una (Pará) Forestry reserve of the Superintendency of the Free Trade Zone Manaus
Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i>	Rondônia
Morototó	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Frodin	Curuá-Una (Pará) Forestry reserve of the Superintendency of the Free Trade Zone Manaus
Muiracatiara *	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Curuá-Una (Pará)
Muirapixuna *	<i>Cassia scleroxylon</i> Ducke	Curuá-Una (Pará)
Munguba grande	<i>Pachira</i> spp.	Curuá-Una (Pará)
Pará-Pará	<i>Jacaranda copaia</i> D.Dow	Curuá-Una (Pará) Forestry reserve of the Superintendency of the Free Trade Zone Manaus
Preciosa *	<i>Aniba canelilla</i> (H.B.K.) Mez	Curuá-Una (Pará) Forestry reserve of the Superintendency of the Free Trade Zone Manaus
Tachi preto folha grande	<i>Tachigalia</i> cf. <i>rusbyi</i> Harms	Curuá-Una (Pará)
Tauari	<i>Couratari oblongifolia</i> Ducke	Curuá-Una (Pará)
Ucuúba da terra firme	<i>Virola</i> cf. <i>richelii</i> Heckel	Curuá-Una (Pará)
Urucú da mata	<i>Bixa arborea</i> Huber	Tapajós Forestry reserve (Pará)

* Species selected for wood wind instruments.

4. Sampling and processing of test material

The collection of wood from trees in the Amazon region is a difficult, often hazardous time and money consuming enterprise, because of inaccessibility, lack of infrastructure and transportation facilities.

Three sampling areas were chosen due to the available inventory results; the Forest Reserve of the Superintendency for the Free Trade Zone, Manaus, the Curuá-Una Forest north of Santerém and the Tapajós Forest Reserve, south of Santerém.

In each locality a field crew was trained in the following sampling procedures; tree felling, log cutting, prophylactic treatment and collection of botanical material for identification. From each specie a minimum of three trees were sampled. Log ends were painted with an asphalt base paint to prevent excessive end drying and hence the splitting of the logs during extraction, storage and transportation.

Log extraction was carried out with tractors and/or skidders and transportation to the sawmills by either barge (water transport) or by truck. The two sawmills responsible for the conversion of the logs were the mill at the Forest Research Center (CPPF/INPA) in Manaus and the mill of the Superintendency of the Amazon (SUDAM) in Santerém. The logs were sawn in accordance with directions given by the musical instruments manufacturers, thus a large part of the logs were perfectly quarter sawn. All material, except for heavy species, received a dip treatment with a solution of a fungicide/insecticide mix after leaving the saw, to prevent fungus and insect attacks during pre-airseasoning at the mill site.

5. Test procedures and results

5.1. Determination of general characteristics

General characteristics of wood comprise of its color, texture, figure and grain. Tradition is very strong in the musical instrument industry and for the different components of instruments specific combinations of general characteristics are required.

COLOR: Color determination is a subjective task. The impression by the human eye of orange or yellow, red or reddish brown is different from person to person. Objective color determination is possible only with the assistance of colorimetry. Color is an important feature in instrument manufacture. For example, clarinets and oboes traditionally have to be black. Woods also have the tendency to change color when

exposed to air or light due to the oxidation of certain substances present. One example is Coração de Negro which changes its color from yellowish brown when freshly cut to a dark black brown on exposure to air or light (Table 3). A color difference between heartwood and sapwood is also very important, as sapwood is not allowed in the manufacture of musical instruments color difference facilitates the separation of the two. However, many light colored Amazonian wood species do not have color differences between the sapwood and heartwood, making it difficult to differentiate the two. The thickness of the sapwood layer might also be a limiting factor in the selection of species. The minimum width in guitar manufacture is 20cm, since the wood has to be perfectly quarter sawn, the minimum heartwood diameter should be at least 50 cm, which means that trees with a 5 cm thick sapwood layer should have a diameter of at least 60 cm.

The calorimetric method used in the determination of wood color requires samples of 15 x 5 cm. For each sample at least three reflectance values of three basic colors - red, green and blue - are measured by a reflectance reading filter, colorimeter. These values represent the tristimulus values X, Y and Z for the CIE- standard observer in the 2 degree standard calorimetric system (CIE stands for International Commission on Illumination). A XENON lamp stimulates approximately a 65 D source. The illumination of the sample, directly located opposite the photometer is defuse (d/O). The X, Y and Z tristimulus values are converted to the chromaticity coordinates X and Y. To make these values comprehensible they are given names and are transformed to color values in accordance with the DIN color chart (DIN 6164). The DIN color code, e.g. 4:2:3, shows hue, saturation and lightness. Hue ranges from, 1 to 24.99 - from yellow (1) to red (7), violet (3), blue (17) and green (21) back to yellow. Saturation ranges from 1 to 16 increasing with number and brightness decreasing from 1 to 10. Following ASTM D 1535 standard the chromaticity coordinates X and Y and the luminous reflectance Y can be converted to the Munsell Color Notation.

Wood colors fall into a relatively small range between yellow and red with a few exception e.g. "violet" *Peltogyne cabingae* Ducke, which is dark brown after cutting, changing to purple and violet.

Determining wood color through the application of colorimetry provides objective results of color alteration during the

finishing process. The colors of the species under investigation are presented in Table 2.

Table 2 - Colors of Pre-selected wood species

COMMON NAME	COLOR	CODE
Amapá doce	Pale yellow brown	CIE Y,x,y 45.2, 0.388, 0.378 3 : 3 : 2
Cedro	Pale yellowish-brown	CIE Y,x,y 35.7, 0.399, 0.371 4 : 3 : 2
Coração de negro	Black (achromatic)	CIE Y,x,y 8.2, 0.333, 0.331 7 : 0 : 6
Envira preta	Light grayish brownish-yellow	CIE Y,x,y 48.4, 0.367, 0.374 2 : 2 : 2
Faveira folha fina	Pale yellow-brown	CIE Y,x,y 35.3, 0.395, 0.381 3 : 3 : 2
Freijó verdadeiro	Weak yellow-brown	CIE Y,x,y 29.1, 0.386, 0.373 3 : 3 : 3
Gombeira (sapwood)	Pale yellow-brown	CIE Y,x,y 41.2, 0.401, 0.391 3 : 3 : 2
Gombeira (heartwood)	Weak yellowish-brown (when freeseey cut, black after exposure)	CIE Y,x,y 24.0, 0.400, 0.371 4 : 3 : 3
Jacarandá	Dark grayish brown	CIE Y,x,y 11.3, 0.393, 0.360 5 : 2 : 5
Macacaúba	Weak brown	CIE Y,x,y 19.0, 0.425, 0.369 5 : 3 : 3
Marupá	Very light grayish brownish-yellow	CIE Y,x,y 64.8, 0.364, 0.375 2 : 2 : 1
Mogno	Pale yellowish-brown	CIE Y,x,y 35.6, 0.400, 0.374 4 : 3 : 2
Morotó	Light grayish yellow-brown	CIE Y,x,y 45.7, 0.360, 0.367 3 : 2 : 2
Muiracatiara (stripes)	Pale yellow-brown	CIE Y,x,y 46.6, 0.387, 0.372 3 : 3 : 2
Muiracatiara (stripes)	Weak yellowish-brown	CIE Y,x,y 22.8 0414 0380 4 : 3 : 3
Muirapixuna	Dark grayish yellowish-brown	CIE Y,x,y 10.8, 0.375, 0.361 4 : 2 : 5
Munguba	Light grayish yellow-brown	CIE Y,x,y 47.6, 0.374, 0.374 3 : 2 : 2
Pará-Pará	Very light grayish yellow-brown	CIE Y,x,y 60.0, 0.357, 0.363 3 : 2 : 2
Preciosa	Dark grayish yellow-brown	CIE Y,x,y 11.0, 0.370, 0.366 3 : 2 : 5
Tachi preto folha grande	Pale yellow-brown	CIE Y,x,y 36.3, 0.396, 0.393 3 : 3 : 2
Tauari	Very pale yellow-brown	CIE Y,x,y 51.3, 0.379, 0.381 3 : 3 : 1
Ucuúba da terra firme	Weak yellow-brown	CIE Y,x,y 31.2, 0.401, 0.379 3 : 3 : 3
Urucú da mata	Light grayish yellow-brown	CIE Y,x,y 47.7, 0.357, 0.356 3 : 2 : 2

Illuminant : Xenon
*DIN 6164

Illumination:d/O

Chromaticity coordinates, x,y, and luminous reflectance, y - according to the CIE standards in the second degree standard colorimetric system - can be converted to MUNSSELL Color Notion following ASTM D 1535.

Table 3 - Color change of "Coração de Negro" in contact with air and light

COLOR	CODE	TIME
Weak yellowish-brown	CIE Y,x,y 21.1, 0.424, 0.380 4 : 3 : 3	11:00
Yellow-green	CIE Y,x,y 17.7, 0.306, 0.448 23 : 5 : 4	11:30
Yellow-green	CIE Y,x,y 16.1, 0.315, 0.437 23 : 4 : 4	11:40
Strong yellowish-green	CIE Y,x,y 14.6, 0.247, 0.467 22 : 7 : 4	11:50
Strong yellowish-green	CIE Y,x,y 13.9, 0.254, 0.461 22 : 6 : 4	11:55
Strong yellowish-green	CIE Y,x,y 13.4, 0.244, 0.460 22 : 7 : 4	12:00
Dark grayish brown	CIE Y,x,y 10.0, 0.377, 0.351 5 : 2 : 5	14:30
Dark grayish reddish brown	CIE Y,x,y 10.3, 0.400, 0.341 6 : 2 : 5	15:00
Dusky bluish-red	CIE Y,x,y 9.7, 0.415, 0.323 8 : 3 : 5	16:00
Dark grayish reddish-brown	CIE Y,x,y 8.9, 0.381, 0.340 6 : 2 : 5	10:00
Brownish-yellow. black	CIE Y,x,y 7.3, 0.327, 0.344 2 : 1 : 6	10:00 next day
Yellow-brown. black	CIE Y,x,y 7.9, 0.346, 0.348 3 : 1 : 6	11:00
Brown.black	CIE Y,x,y 8.0, 0.355, 0.345 5 : 1 : 6	12:00

FIGURE: Commercially the term figure is limited to the highly decorative patterns, that principally result from the appearance of increment layers, irregularities in the orientation of the cells and uneven color distribution. Wood used for stringed musical instruments has to be perfectly quarter sawn which means that the figure appears on the radial surface. Quarter sawn wood generally presents a considerable quantity of ray tissue, which, to an important extent, is responsible for the decorative value of the wood. The figure classification for the pre-selected species was based on three characteristics; ray tissue, color distribution and irregularities in the cell orientation (Table 4).

TEXTURE: The difference in the appearance of growth increments as a result of variations in size and uniformity of cell dimensions constitute the texture of the wood. Contrary to many European and North American woods, oaks for example, the majority of Amazonian woods have a uniform texture. The classification of texture used for the pre-selected species was based on pore size and the

parenchyma visibility; coarse: pores with diameters over 300 microns and abundant parenchyma visible to the naked eye, medium: pores with diameters between 100 to 300 microns and a parenchyma visible without using lens, fine: pores with diameters less than 100 microns and a parenchyma not visible without a lens (Table 4).

GRAIN: Is related to the general direction of the fibers and other elements in the wood. The characteristic is defined as straight, spiralled, wavy, spiral, interlocked or cross grained. Woods used in musical instruments manufacture preferably require a straight grain, however, many tropical species have either a crossed or interlocked grain.

Table 4 - General characteristics of Pre-selected species (quarter sawn)

COMMON NAME	FIGURE	TEXTURE	GRAIN	LUSTRE
Amapé doce	Distinct, pronounced ribbon	medium	interlocked	low
Cedro	Absent	coarse	straight	medium
Coração de Negro	Faint growth-ring stripe	fine	straight to irregular	low
Envira preta	Faint growth-ring stripe	medium	straight	low
Faveira folha fina	Faint growth-ring stripe	medium	cross-grained irregular	medium
Freijó verdadeiro	Distinct, conspicuous growth-ring stripe	medium	straight	high
Gombeira	Absent	fine	straight	medium
Jacarandá	Distinct, conspicuous growth-ring stripe	medium	straight to wavy	high
Macacaúba	Distinct, conspicuous growth-ring stripe	fine	straight to wavy	high
Mogno	Distinct pronounced ribbon	medium	interlocked	low
Morotó	Faint growth-ring stripe	medium	straight	medium
Muiracatiara	Very conspicuous, irregular dark colored stripes strongly contrasting with the rest of wood	fine	straight	medium
Muirapixuna	Faint growth-ring stripe	fine	straight	medium
Munguba	Absent	medium	straight	low
Pará-Pará (Caroba)	Absent	medium	straight	low
Preciosa	Absent	fine	straight to irregular	medium
Tachi preto	Distinct, conspicuous wavy growth-ring stripe	medium	irregular	high
Tauri	Distinct, conspicuous growth-ring stripe	medium	straight	medium
Ucuíba da terra firme	Absent	medium to fine	straight	low
Urucú da mata	Faint growth-ring stripe	medium	straight	medium

5.2. Determination of Physical properties

The most important physical properties of wood are its density (basic specific gravity) and shrinkage. Basic specific gravity of wood is a property of importance because of its direct relationship with other properties, such as mechanical strength.

In musical instruments the basic specific gravity of traditional species is different for the various components for example, specific gravity of the wood for the belly of a violin is lower than that of the back. Wood used in wind instrument manufacture is very heavy and with a specific gravity of approximately 0.90.

The basic specific gravity was one of the main properties used in the pre-selection of the species. Tables 5 and 7 compare the values of this property in the traditional and national woods. The basic specific gravity calculations were based on the weight of oven dry wood and volume when green.

Shrinkage (volumetric, tangential and radial) and also the tangential/radial shrinkage ratio were determined for all species (Table 5). To a certain point the latter value is an indicator of the drying behaviour of the wood; the lower this value (< 2) the better is the chance that drying will occur without defects. The absolute values for radial and tangential shrinkage also are to a certain extent indicators for the dimensional stability of a wood, i.e. the lower these values are the lesser the dimensional changes with absorption or desorption of moisture.

5.3. Mechanical Properties

The mechanical properties were determined in previous investigations for all pre-selected species of low and medium density. The species selected for wood wind instruments are so dense and heavy that it is not necessary to determine their strength properties. In Tables 6 and 7 the strength properties of traditional and pre-selected species are shown.

5.4. Drying of Test Material Applying Different Methods

Dry material for the manufacture of musical instrument shall be free of internal stress, which is usually liberated during machining and can cause deformities such as warp and bow.

For this reason the drying method applied is crucial to prevent the occurrence of these stresses. This signifies that the lumber must be dried under conditions preventing casehardening and collapse, defects that occur normally in the first stages of drying.

Table 5 - Physical properties of Pre-selected species

COMMON NAME	BASIC SPECIFIC GRAVITY (OVEN DRY WEIGHT VOLUME WHEN GREEN G/CM ³)	SHRINKAGE			
		VOLUMETRIC	TANGENTIAL	RADIAL %	RATIO TS/RS
Amapá doce	0.54	13.3	7.9	4.9	1.61
Cedro	0.37	12.2	6.7	4.3	1.56
Coração de Negro	1.00	17.0	10.0	6.5	1.55
Envira preta	0.54	15.4	8.6	6.0	1.44
Faveira folha fina	0.77	12.7	7.8	4.5	1.75
Freijó verdadeiro	0.49	14.5	8.1	5.7	1.43
Gumbeira	0.83	17.1	10.5	5.8	1.80
Jacarandá	0.92	12.7	8.1	4.2	1.94
Macacaúba	0.74	6.6	4.6	2.6	1.8
Marupá	0.40	10.7	6.6	3.4	1.94
Mogno	0.48	9.9	5.7	3.3	1.73
Morototó	0.51	23.0	13.2	8.1	1.62
Muiracatiara	0.72	12.9	7.4	4.6	1.61
Muirapixuna	1.03	11.0	7.7	4.9	1.61
Munguba	0.50	13.3	10.0	4.5	2.23
Pará-Pará	0.33	16.1	9.0	6.0	1.50
Preciosa	1.02	15.2	8.7	5.7	1.53
Tachi preto	0.63	13.8	8.4	4.7	1.77
Tauari	0.49	11.3	6.4	4.2	1.51
Ucuúba da terra firme	0.50	13.7	8.3	4.6	1.79
Urucú da mata	0.30	9.7	6.1	3.1	1.97

Table 6 - Mechanical properties of pre-selected species.

SPECIES	*specific gravity dry weight when green g/cm ³	Static bending		Compression		Tension	Shear	Hardness (Janka)		observations
		MOR	MOE	c //	c⊥	l	max strength	End	Side	
		kg/cm ²	100kg/cm ²	max crushing strength kg/cm ²	strength at prop. Lm. kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg	kg	
Amapá doce <i>Brasimum parinarioides</i>	0.57 (0.54)	1043	115	581	82	30	102	734	567	
Cedro <i>Cedrela odorata</i>	0.36* (0.37) (0.43)**	553	70	312	-	-	-	-	227	*wood handbook
Envira preta <i>Orychopetalum amazonicum</i>	0.64 (0.54)	714	81	446	58	38	76	450	324	**Technical Series n° 6
Faveira folha fina <i>Piptadenia suaveolens</i>	0.72 (0.77)	1265	140	710	64	29	104	822	685	
Freijó verdadeiro <i>Cordia goeldiana</i>	0.48 (0.49)	1285	134	697	115	51	126	733	785	
Macacaúba <i>Platymiscium uli</i>	0.75**	932	104	517	62	31	85	608	452	
Manupá <i>Simarouba amara</i>	0.38 (0.40)	1039	106	543	111	60	98	914	911	Green conditions
Mogno <i>Swietenia macrophylla</i>	0.52 (0.48)	664	82	352	47	32	71	439	267	**Technical Series n° 6
Morototó <i>Schefflera morototoni</i>	0.39 (0.51)	562	66	323	72	49	88	517	435	
Muiracatiara <i>Astronium lecointei</i>	0.72** (0.75)	725	113	405	46	62	105	489	357	
Pará-Pará <i>Jacarandá copaia</i>	0.31 (0.33)	1026	115	531	113	69	100	672	684	**Technical Series n° 6
Preciosa <i>Aniba canelilla</i>	0.92 (1.02)	562	89	313	31	29	61	336	194	
Tachi preto <i>Tachigala myrmecophylla</i>	0.53 (0.63)	1875	181	997	208	28	188	1500	1528	
Tauari <i>Couratari oblongifolia</i>	0.49 (0.49)	1070	112	578	93	40	122	762	562	
Ucuúba da terra firme <i>Vimla micheli</i>	0.50 (0.50)	905	108	477	62	37	87	542	380	
Urucú da mata <i>Bixa arborea</i>	0.32 (0.30)	972	121	522	60	49	101	671	472	
		555	77	365	40	24	64	396	198	

* WOOD HANDBOOK. FPL. FOR SERVICE U.S. DEPT OF AGRICULTURE N° 72 1974
 ** ESPECIES FLORESTAIS DA AMAZÔNIA, SÉRIE TÉCNICA N° 6, PNUD/FAO/IBDF/BRA-46. 1976
 ALL OTHER DATA : MADEIRAS DA AMAZÔNIA, VOLUME 1, FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS, IBDF/CNPq, 1981

Table 7 - Physical and mechanical properties of traditional wood species.

species (already used for musical instruments)	specific gravity	Shrinkage				Mechanical properties								
		volumetric	tangential	radial	ratio Tang/Rad	static bending		compression		tension		shear	hardness (Janka)	
						MOR Kg/cm ²	MOE x 1000 Kg/cm ² Z	C// max crushing strength Kg/cm ²	C⊥ stress at prop limit Kg/cm ²	T// max tensile strength Kg/cm ²	T⊥ max tensile strength Kg/cm ²	max crushing strength Kg/cm ²	end Kg	side Kg
1. <i>Picea abies</i> 2,10) European spruce	r=0.43 r ² ₁₅ =4.7	12.2	7.8	3.6	2.17	660	110	430	-	900	-	67	-	-
2. <i>Picea sitchensis</i> 4) Sitka spruce	0.40	11.5	7.5	4.3	1.7	710	92	421	-	-	-	64	-	208
3. <i>Picea glauca</i> Eastern Canadian spruce	0.40	13.7	8.2	4.7	1.7	721	110	396	41	-	26	81	-	232
4. <i>Acer pseudoplatanus</i> 1) Sycamore	r=0.59 n ^o ₁₅ =0.63	11.5	8.0	3.0	2.7	688	94	384	40	-	27	75	267	217
4. <i>Acer pseudoplatanus</i> 1) Sycamore	r=0.59 n ^o ₁₅ =0.63	12.8	8.5	4.4	1.9	1120	94	580	-	820	-	90	-	-
4. <i>Acer pseudoplatanus</i> 1) Sycamore	r=0.59 n ^o ₁₅ =0.63	12.8	8.5	4.4	1.9	950	94	490	-	820	-	90	-	-
4. <i>Acer pseudoplatanus</i> 1) Sycamore	r=0.59 n ^o ₁₅ =0.63	12.8	8.5	4.4	1.9	1090	114	570	-	1440	-	107	-	-
5. <i>Acer platanoides</i> 1) European maple	r=0.62 n ^o ₁₅ =0.66	12.1	8.4	3.2	2.6	1370	113	620	-	1000	-	80	-	-
5. <i>Acer platanoides</i> 1) European maple	r=0.62 n ^o ₁₅ =0.66	13.8	9.0	4.9	1.8	1140	121	590	-	1550	-	124	-	-
6. <i>Acer saccharum</i> 4) Sugar maple	0.56 (12% m.c.)	14.7	9.9	4.8	2.1	1117	129	553	52	-	-	164	-	659
7. <i>Acer nigrum</i> 4) Rock maple	0.57	-	8.0	4.0	2.0	920	112	461	70	-	46	125	-	520
8. <i>Buxus sempervirens</i> European boxwood	0.90	-	-	-	-	1335	-	738	-	-	-	-	-	1282
9. <i>Carya tomentosa</i> 4) Mockernut hickory	0.64	17.8	11.8	7.7	1.4	1357	156	632	122	-	-	123	-	-
10. <i>Carya glabra</i> 4) Shellbark hickory	0.62	19.2	12.6	7.6	1.6	1279	133	565	127	-	-	149	-	-
11. <i>Dalbergia melanoxylon</i> African blackwood	0.95	10.8	7.1	2.9	2.4	1414	210	703	-	-	-	-	-	-
12. <i>Dalbergia retusa</i> Granadilla	0.90	10.4	6.8	2.9	2.3	-	162	-	-	-	-	-	-	-
13. <i>Diospyros</i> spp. African ebony	0.90	-	6.0	3.5	1.7	1414	200	632	-	-	-	-	-	-
14. <i>Caesalpinia echinata</i> Pau Brazil	1.25	14.4	7.9	4.4	1.8	-	320	-	-	-	-	-	-	-
15. <i>Dalbergia nigra</i> Jacarandá da bahia	0.87	14.1	10.2	4.9	2.1	1383	119	644	-	-	96	139	-	-

5.4.1. Drying of Sawn Lumber for Stringed Instruments

In the drying of quarter sawn lumber of the pre-selected species for stringed instruments, having a thickness of approximately 3 cm and with a width variation of 17 to 28 cm, a combination of three different techniques was applied, air-seasoning, conventional kiln drying and dehumidification (low temperature drying).

After sawing and preservative treatment in the CPPF and SUDAM sawmills the lumber was stacked in an open shed and seasoned to a moisture content of 30 to 40 percent. During the rainy season in the Amazon region the average temperature and relative humidity are respectively 27 ° C and 90% corresponding to an equilibrium moisture content in the wood of about 20 percent. These conditions result in a slow seasoning process and no defects were observed in the species under investigation during this phase. After air-seasoning the lumber was dried in a conventional dry kiln under very moderate conditions, with a temperature not greater than 55 ° C and relative humidity gradually decreasing from 85% to 70% during the process arriving at a final humidity content of 12 to 14% in the wood. During the final phase the lumber was stacked in a climate room (dehumidification chamber), under conditions corresponding to the equilibrium moisture content of 10 percent.

Results of this combined drying process were excellent for all the pre-selected species for stringed instruments. Defects were limited to slight end-checking in a few species.

5.4.2. Wood Drying for Wood Wind Instruments

Wood species used in the manufacture of wind instruments clarinets, oboes and others, are heavy to very heavy, having a basic specific gravity of 0.90 or more. These species are difficult to dry, demanding special care during the drying process. Drying has to be slow using low temperatures and high relative humidities to prevent surface and end-checking and internal stresses. Air-seasoning of these woods, although they have a low initial moisture content because of their high density, may take up to more than one year under the prevalent climatic conditions in the Amazon. The required final moisture content of about 15 percent that is indicated by the manufacturers, can not even be reached with out some kind of

artificial drying. The options to accelerate the drying process are very also limited because of the dimensions of the raw material. The only suitable method to be applied in this case is drying at low temperatures by dehumidification. Thus the drying of the pre-selected species, Coração de Negro, Gombeira, Preciosa, Muirapixuna and Jacarandá was carried out in dehumidification chambers.

Initial temperature and relative humidity were respectively 33 °C and 88%. These conditions were gradually changed to a final temperature of 35 °C and a relative humidity of 80% during the drying process, corresponding to a final wood moisture content of 15 percent. The major defects observed in the wood of these species are surface-checking and end-splitting. Coração de Negro and Gombeira, species belonging to the genus *Swartzia* and *Preciosa* show negligible defects after careful seasoning. However, *Muirapixuna*, has a strong tendency to checking and splitting.

5.5. Dimensional Stability of the Woods

All musical instruments have one factor in common that the choice of species is affected not only by its relationship to the performance of the instrument, but by the fact that often is manufactured under climatic conditions different from the place where it will be used. According to Pearson (9) one property, that of a small dimensional movement, is common to many of the timbers particularly suitable for the more exacting instrument parts. Warping and swelling or shrinkage are the things that the musical instrument maker fears the most, since they are associated with functional disability of the instrument, such as jamming of the action or loose joints. While tone, which should be expected to be of prime importance, is not, on the whole found to be such an outstanding problem by the instrument makers.

The factors that determine dimensional stability are shrinkage and swelling, the moisture content ranges from 0% to fiber saturation point and the rate of absorption and desorption of moisture (hygroscopicity). The latter, among other factors, is dependent on extractives, the higher the extractive content is in wood the lower is its permeability. Furthermore, board thickness has an "inertial" effect on the time necessary

to achieve a given fraction of equilibrium absorption. If external swelling is restrained a swelling stress develops which opposes further absorption. In other words absorption and hence swelling can be restrained by internal stresses in the wood.

For practical purposes the wood moisture content range of importance is from 8 to 16 percent. Climatic conditions in temperate zones such as southern Brazil, Europe and North America, cause content changes within this range. In the summer equilibrium moisture content (EMC) may be 15 or 16%, while in the winter, when instruments are stored or used in rooms with central heating, the (EMC) may be as low as 8 percent.

In extreme cases such as the climatic conditions that exist in Brasília and the Amazon basin the EMC range is different. The long dry season in Brasília causes wood moisture content to drop to 5 or 6 percent and musicians are forced to store their instruments in bathrooms to prevent them from excessive moisture desorption and hence considerable dimensional changes. While the outside conditions in the Amazon during the rainy season correspond to an EMC of 19 to 20 percent and instruments should be stored in air-conditioned rooms, where an EMC of 11 or 12 percent can be maintained.

The above examples show the effect of climatic conditions over relative long periods of time, however, musicians also experience the influence of different relative temperatures and humidity on their instruments during short periods of travel from one locality to another.

Besides these dimensional changes, tone richness is, except for uniformity in wood structure and density, dependent on moisture content. Greenhill (5), working with Australian woods, found the effect of moisture content to be appreciable on logarithmic decrement averaging 0.0322, 0.0365, 0.0379 at 8, 15 and 19 percent moisture content respectively.

To test the dimensional stability of sixteen pre-selected species for stringed instruments, perfectly quarter sawn samples 50 cm long, 0.5 cm thick and with an average width of 26 cm, were stored under climatic conditions corresponding to an equilibrium moisture content of about 12 percent. However, as can be seen from the graphs in figs.1 to 4, most of the species did not arrive at this equilibrium before the dimensional stability test started. After conditioning, the samples were put in a climate chamber at a temperature of 29.4 °C (85 °F) and a

relative humidity of 90 percent corresponding to an EMC between 19 and 20 percent, thus simulating climatic conditions in the Amazon during the rainy season. The samples were weighed and their dimensional changes measured at regular time intervals to obtain moisture absorption and swelling curves over a period of eighteen hours (Figs.1-4). Then the initial climatic conditions in the chamber were changed to conditions corresponding to a EMC of 8 percent and maintained for sixteen hours. This absolute radial shrinkage is demonstrated in Table.8, swelling and shrinkage expressed in percent per 1 percent moisture content change are shown of the traditional woods and the Brazilian selected species.

Table 8 - Radial swelling and shrinkage in per 1% moisture change

COMMON NAME	absolute radial shrinkage %	adsorption swelling in % per 1% M.C. change	desorption shrinkage in % per 1% M.C. change
European spruce ²⁾	3.6-4.0	0.19	-
European maple ¹⁾	3.2-4.9	0.10-0.20	-
Cedro	4.3	0.06	0.09
Mogno	3.3	0.08	0.16
Urucú da Mata	3.1	0.09	0.08
Munguba	4.5	0.12	0.13
Pará-Pará	5.4	0.12	0.09
Marupá	3.4	0.16	0.14
Ucuúba	4.6	0.21	0.21
Amapá Doce	4.9	0.22	0.27
Envira	3.9	0.22	0.23
Faveira	4.5	0.22	0.20
Morototó	8.1	0.23	0.25
Tauari	4.2	0.23	0.20
Freijó	4.1	0.24	0.21
Macacaúba	2.6	0.24	0.24
Tachi preto	4.7	0.27	0.29
Muiracatiara	4.6	0.36	0.23

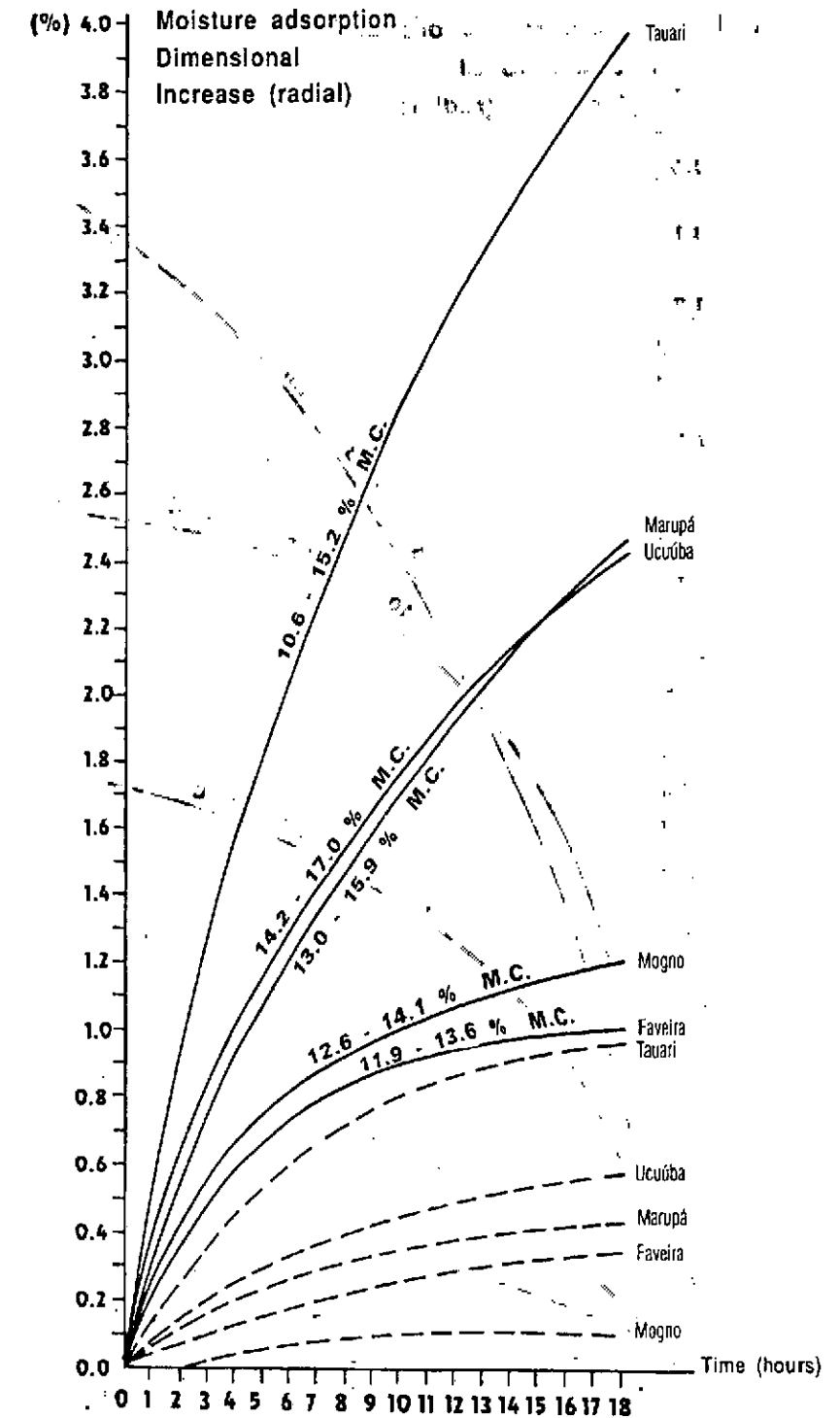


Fig. 1 - Moisture adsorption and radial dimensional increase.

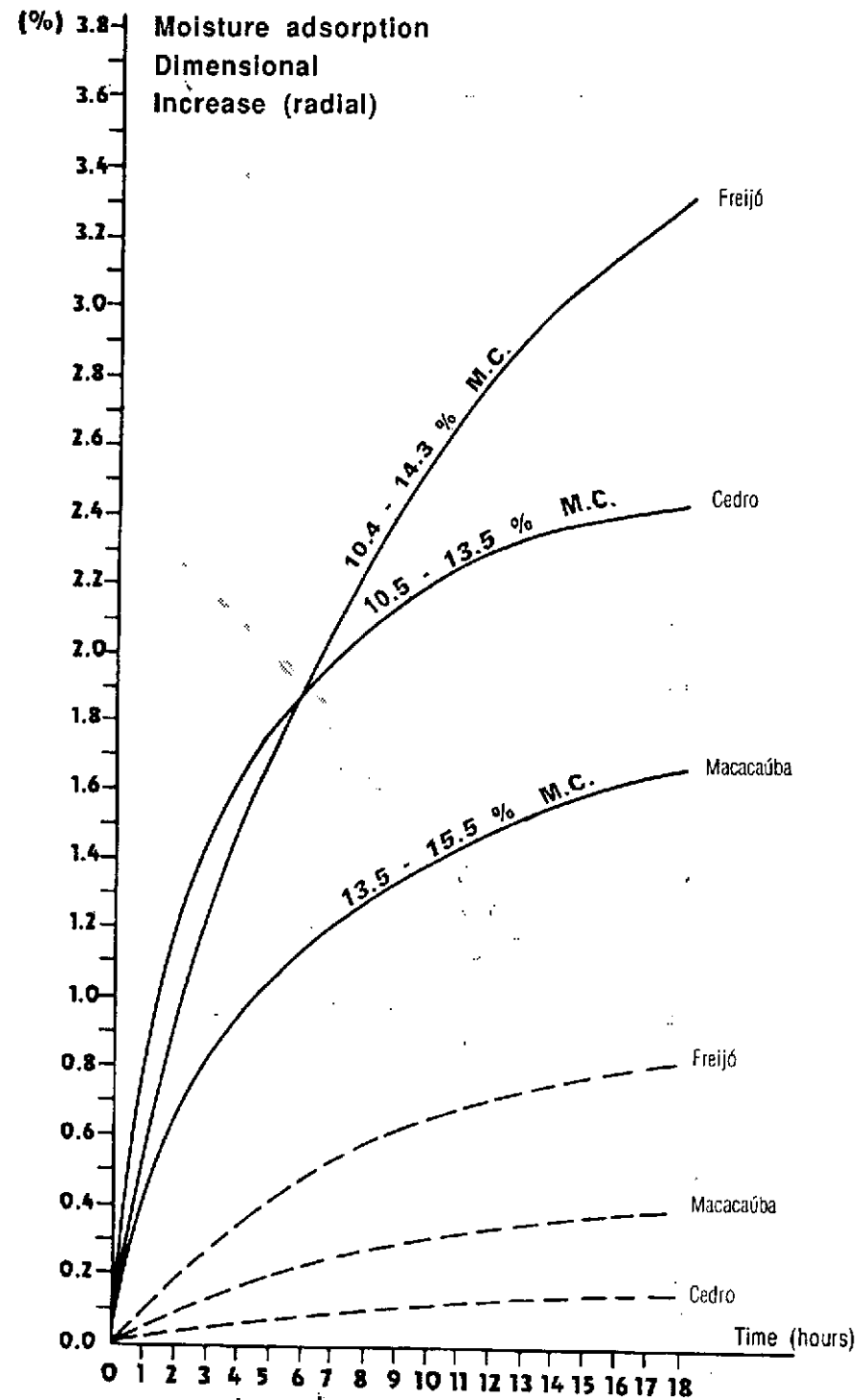


Fig. 2 - Moisture adsorption and radial dimensional increase.

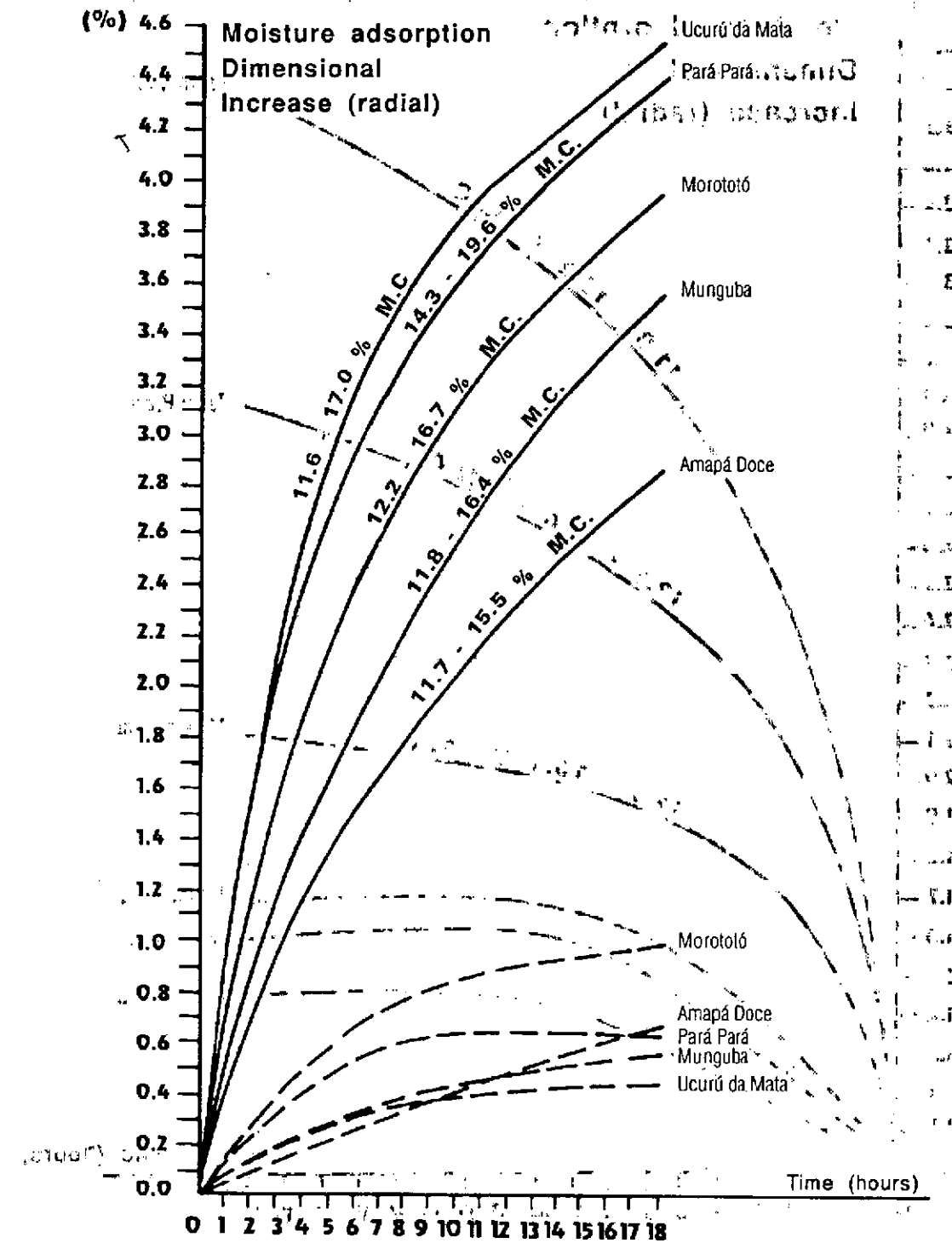


Fig. 3 - Moisture adsorption and radial dimensional increase (%).

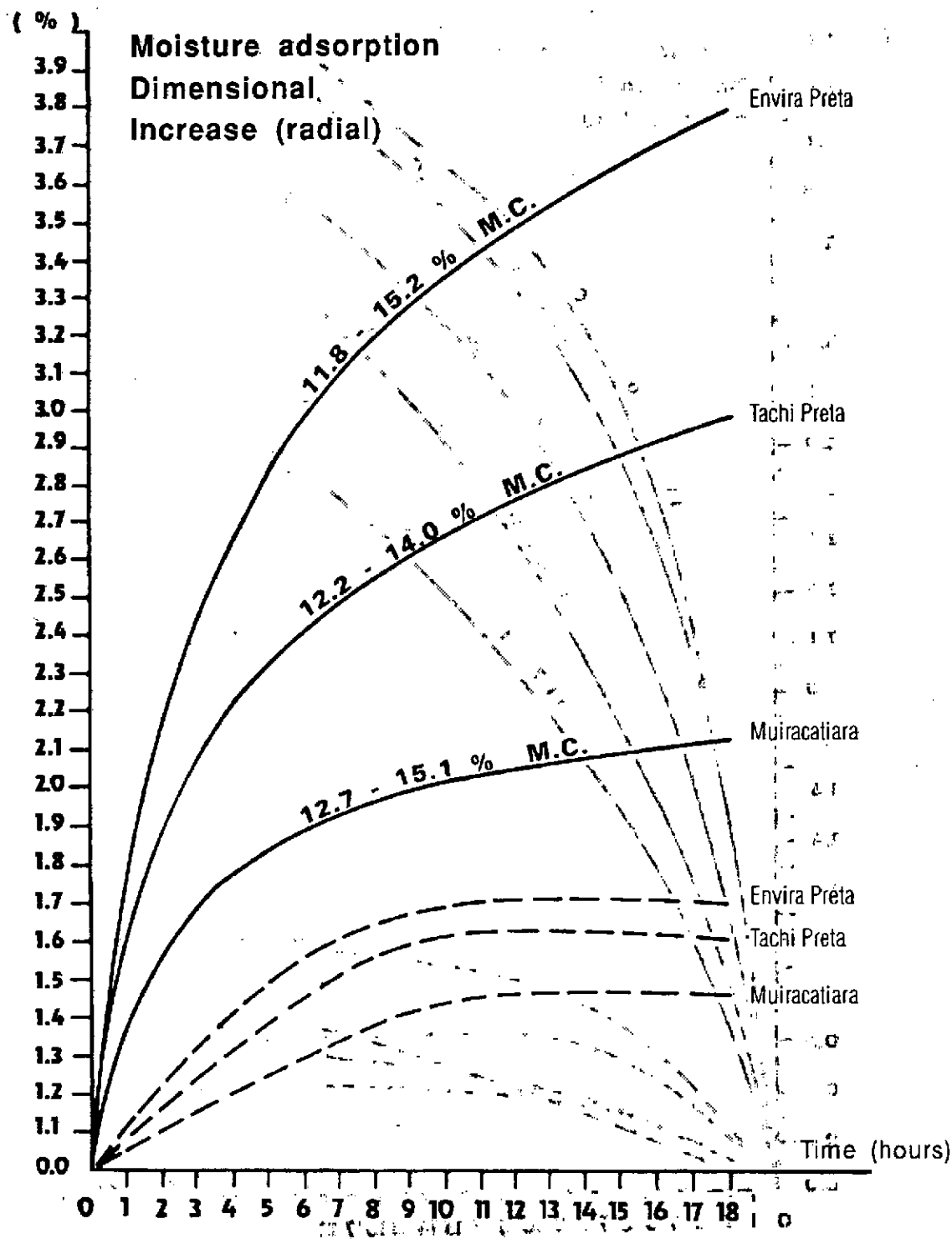


Fig. 4 - Moisture adsorption and radial dimensional increase

As mentioned above, the dimensional stability of a specie is determined by its total swelling and shrinkage, the rate of moisture absorption/desorption and the corresponding swelling/shrinkage within a certain moisture content range (8 -16% M.C.). In comparison with European Spruce and maple the Brazilian species, with the exception of Pará-Pará and Morototó, show equal or even lower absolute shrinkage values than the traditional ones. However, great differences can be observed among the Brazilian species in the rate of absorption and corresponding dimensional changes. Tauari, Morototó and Freijó, for example, show high moisture absorption rates of respectively 3.9, 4.5 and 4.5 percent, corresponding with a sample width increase of respectively 0.94, 1.01 and 1.02 percent and a consequently swelling in % per 1% M.C. change of respectively 0.23, 0.23 and 0.24. The latter values are higher than those for European spruce and maple (respectively 0.19 and 0.20 (max.)) (2), meaning that these Brazilian species are less stable than the European ones. On the other hand, species such as Cedro, Mogno, Urucú da Mata, Munguba, Pará-Pará and Marupá, show better or equal dimensional stability than the traditional species.

Another difference in absorption behaviour between Brazilian species is shown by the curves in Figs.1-4. Some species, like Tauari and Freijó present a more or less uniform increase in moisture absorption during the entire eighteen hour period, while others such as Envira-Preta, Tachi-Preto, Muiracatiara show the highest increase in absorption and dimensional change during the first six to eight hours, after which weight and dimensional increases start to slow down considerably.

The dimensional stability of the species Coração de Negro, Gombeira, Preciosa, Muirapixuna and Jacarandá do Pará, selected for wind instruments was empirically tested. After the wood had been dried to a moisture content of approximately 15 percent, separate sections of the mouth piece, socket, joints and bell were manufactured with high accuracy so that each part, although being removable, fitted tightly into its neighbouring section. Then the sections were stored in an air-conditioned room where the equilibrium wood moisture content corresponded to 10 percent and the reaction of the parts to these environmental conditions observed. Although all five

species have a tendency to splits, the three species Coração de Negro, Gombeira and Preciosa did not show any defects after three months storage under the above conditions. However, Muirapixuna and Jacarandá do Pará developed checks in the bell.

The Swartzia species Coração de Negro and Gombeira are comparable to Freijó and Tauari in their rate of moisture absorption and desorption. This is an unfavourable characteristic compared to the traditionally used African Blackwood *Dalbergia melanoxylon*, known for its exceptionally slow movement of moisture through the timber due to oil deposits, thus being dimensionally very stable when the finished instrument is in use. To improve the dimensionally stability of pre-finished instruments parts made from other woods it seems to be normal practice to give these parts an oil bath treatment.

5.6. Acoustical Properties of the Pre-Selected Woods for Stringed Instruments

The principles of resonance and sound radiating properties of vibrating wood were applied in the production of wooden musical instruments for centuries before these principals were understood. Today, the acoustic properties of wood are known and can be investigated.

In tests carried out by the Forest Products Laboratory in Brasília, free vibration was applied to determine the natural frequency of vibration (f_r) and the logarithmic decrement (DL) of the sixteen wood species under investigation for stringed instruments. According to Herman (8) :

$$DL = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta f}{f_r}$$

Where f_r is the resonance frequency and f is the frequency difference between the two points directly above and below resonance, at which the amplitude of vibration falls to half the peak-resonance point value "half amplitude" frequencies f' and f'' ; Fig.6 (5).

During tests procedures an instrument set-up was used as schematically shown in fig.5 and consisting of an electromagnetic excitator with a vibration range of 0 to 20 MHz, a constant amplitude and a step-wise frequency change of 0.01 HZ. The required frequency was obtained with a micro-com-

puter that controlled the whole system. The detector receives a vibration transmitted through the wood sample (dimensions 3 x 2 x 0.3 cm) and the computer interprets the signal. The position of the supports of the wood sample (L) varies in accordance with the test for the determination of the fundamental 1st and 2nd harmonic. The results of the tests can be obtained through an oscilloscope, a graphic plotter or a printer connected to the computer.

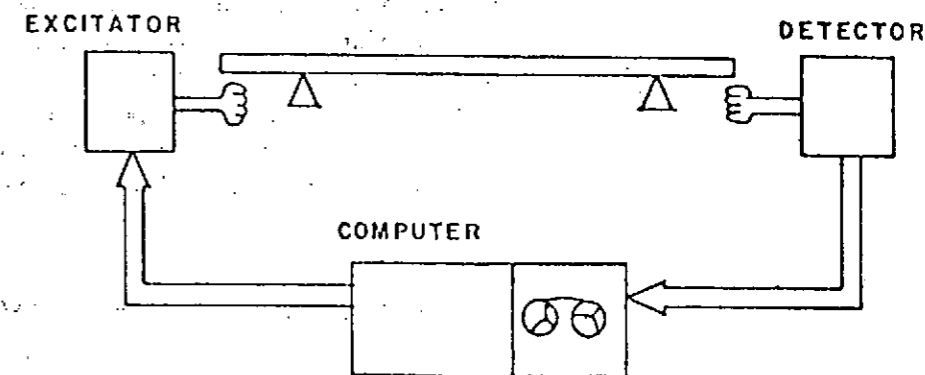


Fig. 5 - Schematic instrument set-up for frequency test.

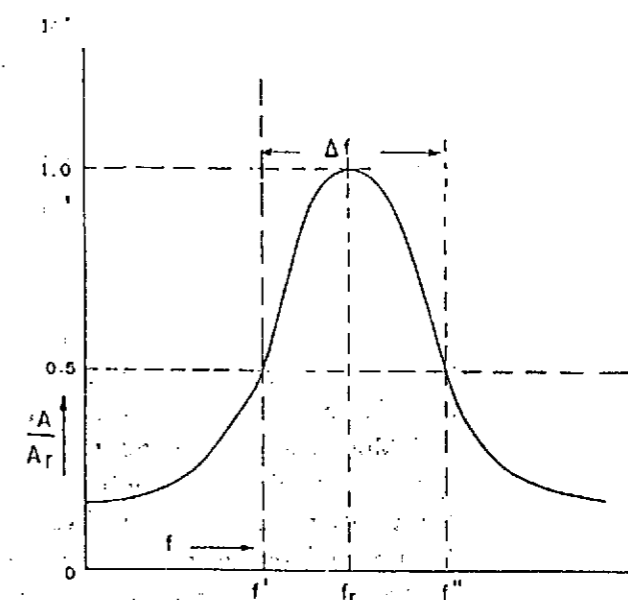


Fig. 6 - Frequency curve.

The concept of the test is simple, the excitator causes the wood sample to vibrate with an increasing frequency, when the frequency coincides with the natural frequency of the wood the sample is in resonance. This induces a high value signal in the detector, which is read by the computer and transmitted to the oscilloscope, the graphic plotter or numerically to the printer.

The results of the acoustical tests are shown in Table 9, where the values for frequency resonance (fr), the logarithmic decrement (DL) and the specific gravity at 12% moisture content () of the Brazilian species for stringed instruments are compared with the values for European spruce and Maple being the traditional ones for respectively the "belly" and the "back" of violins, violas etc. According to Rabelo of the Forest Products Laboratory in Brasília, the following criteria can be used to select the wood species for the tables ("bellies") or "backs".

Belly of violin or guitar: Fr > 170 Hz
DL < 0.021
< 0.60 g/cm³

Back of violin, viola: Fr > 150 Hz
DL < 0.020
> 0.60 g/cm³

Back of guitars: Fr > 150 Hz
DL < 0.020
> 0.60 g/cm³

Applying these criteria to the test results the species can be subdivided into two groups, one group of woods for tables or bellies consisting of the species Freijó, Marupá, Morototó and Munguba. The second group needs to be divided into species for violin and guitar backs. The three species meeting the requirements for violin backs are Amapá Doce, Tauari and Ucuúba and for guitar backs the species Faveira Folha Fina, Macacaúba and Muiracatiara are promising.

Table 9 - Acoustical properties of pre-selected species for stringed instruments (according to RABELO, LPF, Brasília)

COMMON NAME	Fr Hz	Fr 1 ^o Hz	Fr 2 ^o Hz	DL m/se c.	C m/sec.	specific gravity based on 12% M.C. g/cm ³
I. Species suitable for the "belly"						
European spruce	187	514	1014	0.021	4977	0.33-0.47- 0.68.0.47
Envira Preta	186	504	992	0.019	4945	0.62
Freijó	195	535	1044	0.014	5173	0.51
Marupá	170	466	921	0.021	4519	0.43
Morototó	202	549	1064	0.020	5361	0.52
Munguba	178	478	934	0.021	4733	0.57
Pará-Pará	187	480	938	0.022	4978	0.44
Urucú-da Mata	172	485	950	0.020	4572	0.34
II. Species suitable for "backs"						
European maple	148	404	784	0.026	3928	0.53-0.63-0.79* 0.56-0.66-0.81**
Amapá doce	186	575	998	0.023	4959	0.69
Cedro	142	406	800	0.025	3770	0.44
Faveira folha fina	170	469	912	0.020	4526	0.82
Jacarandá	170	496	962	0.017	4599	1.02
Macacaúba	176	518	1014	0.017	4675	0.75
Mogno	166	446	871	0.019	4422	0.53
Muiracatiara	180	488	952	0.020	4804	0.76
Tachi-preto	176	484	942	0.020	4687	0.72
Tauari	172	472	926	0.027	4571	0.52
Ucuúba	186	508	1012	0.023	4955	0.64

*Bergahorm

**Spitzahorm

Parameters:

Fr = frequency of resonance

Fr 1^o = frequency of resonance (1st harmonic)

Fr 2^o = frequency of resonance (2nd harmonic)

DL = logarithmic decrement

C + Velocity of sound propagation

5.7. Machining Properties of the Pre-Selected Wood Species

One of the most significant characteristics of wood is its machining facility. Different species vary greatly in their behaviour under cutting tools so a systematic method is needed to determine their suitability for uses where the quality of the mechanical surface is of utmost importance. Although the surface quality of all finished musical instruments is extremely important, the wood machining qualities are not so much the first criterion, as in many industries. Partly this is because of other more important requirements and also because of a considerable amount of work is done by hand, as in violin making. In musical instrument manufacture it is possible to devote the necessary time when dealing with difficult timber.

In the context of this research project, however, it was considered important enough to obtain some comparable data on machining behaviour of the species under investigation.

The machining tests conducted during the investigation included planing, shaping, drilling and turning, all of which are common wood working operations used in the manufacture of wooden products. The equipment used to carry out the tests consisted of modern commercial size machines. To arrive at comparable results the parameters used in each operation were kept constant for all species. That is to say that probably better results can be obtained with some species showing poor to regular results using different knife angles and feed speeds in planing, different types of bits in boring and finer paper grits in sanding.

The turning tests were carried out only with those species selected for wood wind instruments. Tests were conducted with samples varying in moisture content from 11 to 14 percent. The parameters used in each machining operation are shown in Appendix.1, and the results have been compiled in Table.10. In the classification of finished surface quality four different classes were used.

Quality of class

Percentage of defect free ample and samples with negligible defects

Excellent	> 85%
Good	70 - 84%
Regular	50 - 69%
Poor	< 50%

Table 10 - Machining properties

species	planing		shaping		boring			sanding		Turning		
	quality	predominant defect	quality	predominant defect	quality			quality paper grit		quality	predominant defect	
					end	radial	tangential	80	100			
Anapá doce	regular	fuzzy grain	excellent	chipped	excellent	excellent	regular	regular	regular	fuzzy grain	-	-
Cedro	excellent	none	excellent	none	good	good	good	good	excellent	none	-	-
Coração de Negro	excellent	chipped	excellent	none	excellent	excellent	excellent	excellent	excellent	none	excellent	none
Envira Preta	excellent	chipped	excellent	fuzzy grain	excellent	excellent	excellent	good	excellent	none	-	-
Faveira Folha Fina	regular	chipped	excellent	chipped	excellent	good	good	good	excellent	none	-	-
Freijó	excellent	chipped	good	fuzzy grain	excellent	good	excellent	good	excellent	none	-	-
Gombeira	excellent	none	excellent	none	excellent	excellent	excellent	excellent	excellent	none	excellent	none
Jacarandá	excellent	none	excellent	none	excellent	excellent	excellent	excellent	excellent	none	excellent	none
Macacaúba	excellent	none	excellent	none	excellent	excellent	excellent	good	excellent	none	excellent	none
Marupá	excellent	none	excellent	fuzzy grain	good	good	regular	good	excellent	none	-	-
Mogno	regular	chipped + fuzzy grain	poor	fuzzy grain	excellent	excellent	good	poor	regular	fuzzy grain	-	-
Morotó	excellent	chipped	excellent	fuzzy grain	regular	regular	poor	poor	regular	fuzzy grain	-	-
Muiracaliara	poor	chipped	good	fuzzy grain	excellent	good	good	bad	regular	fuzzy grain	excellent	none
Muirapiruna	excellent	none	excellent	ruise	excellent	excellent	excellent	excellent	excellent	none	excellent	none
Munguba Grande	excellent	chipped	excellent	none	excellent	excellent	good	good	excellent	none	-	-
Pará-Pará	excellent	chipped + fuzzy grain	poor	fuzzy grain	regular	regular	poor	poor	regular	fuzzy grain	-	-
Preciosa	excellent	none	excellent	none	excellent	excellent	excellent	excellent	excellent	none	excellent	none
Tachi preto	excellent	chipped	poor	fuzzy grain, burnt surface due to resin	good	good	good	good	good	burned surface	-	-
Tauari	excellent	chipped	excellent	none	good	regular	regular	good	excellent	none	-	-
Ucuúba	excellent	chipped	good	chipped	excellent	good	good	good	good	fuzzy grain	-	-
Ucuúba da mata	excellent	chipped	good	chipped	excellent	regular	poor	good	excellent	none	-	-

Table 11 - All properties combined for traditional and brazilian species.

SPECIES	color	figure	texture	grain	specific gravity g/cm ³	shrinkage				static bending		com. pr // Kg/cm ²	absorbion radial swelling per 1%	frequency of resonance Hr	logarithmic decrement g/cm ²	specific gravity (12%C base.) g/cm ³
						vol %	tang %	radial %	T/R	mor Kg/cm ²	moe Kg/cm ² x10 ³					
European spruce	yellowish-brown	growing stripe	medium	straight	$r_0=0.43$ $r_{15}=0.47$	12.0	7.8	3.6	2.1	660	110	430	0.19	187	0.021	0.47
European maple	yellowish white	growing stripe "fiddle"	uniform fine	straight	$r_0=0.59$	11.5	8.0	3.0	2.7	1120	94	580	0.10.0.20	148	0.026	0.63
					$r_{15}=0.66$	12.8	8.5	4.4	1.9	950	114	490				
						13.8	9.0	4.9	1.8	1090	113	570				
Amapá	pale yellowish-brown	pronounced ribbon	medium	interlocked	0.54	13.3	7.9	4.9	1.6	1043	115	581	0.22	188	0.023	0.69
Cedro	pale yellow-brown	absent	course	straight	0.37	12.2	6.7	4.3	1.6	553	70	312	0.06	142	0.025	0.44
					0.43					714	81	446				
Coração de Negro	black	faint growing stripe	fine	straight irregular	1.00	17.0	10.0	6.5	1.5	-	-	-	-	-	-	-
Envira preta	light grayish brownish-yellow	faint growing stripe	medium	straight	0.54	15.4	8.6	6.0	1.4	1265	140	710	0.22	186	0.019	0.62
Faveira	pale yellow-brown	faint growing stripe	medium	crossed irreg	0.77	12.7	7.8	4.5	1.7	1285	134	697	0.22	170	0.020	0.82
Freijó	weak yellow-brown	distinct, conspicuous growing stripe	medium	straight	0.49	14.5	8.1	5.7	1.4	932	104	517	0.24	195	0.014	0.51
Gombeira	black	absent	fine	straight	0.83	17.1	10.5	5.8	1.8	-	-	-	-	-	-	-
Jaracandá	dark grayish brown	distinct, conspicuous growing stripe	medium	straight to wavy	0.92	12.7	8.1	4.2	1.9	-	-	-	-	170	0.017	1.02

SPECIES	color	figure	texture	grain	specific gravity g/cm ³	shrinkage				static bending		ccm. pr // Kg/cm ²	absorption radial swelling per 1%	frequency of resonance Hr	logarithmic decrement g/cm ²	specific gravity (12% C base.) g/cm ³
						vol %	tang %	radial %	T/R	mor Kg/cm ²	moe Kg/cm ² x10 ³					
Macacaúba	weak brown	distinct, conspicuous growthring stripe	fine	straight to wavy	0.74	6.6	4.6	2.6	1.8	1039	106	543	0.24	178	0.017	0.75
Manupá	very light grayish brownish yellow	absent	medium	straight	0.40	10.7	6.6	3.4	1.9	664	82	352	0.16	170	0.021	0.43
Mogno	pale yellowish-brown	distinct pronounced ribbon	medium	interlocked	0.48	9.9	5.7	3.3	1.7	562	66	323	0.08	166	0.019	0.53
Morototó	light grayish yellowish-brown	faint growthring stripe	medium	straight	0.51	23.0	13.2	8.1	1.6	725	113	405	0.23	202	0.020	0.52
Muiracaliara	pale yellow brown	very cons irregular dark colored stripes	fine	straight	0.72	12.9	7.4	4.6	1.6	1026	115	531	0.36	180	0.020	0.76
Muirapixuna	dark grayish yellowish-brown	faint growthring stripe	fine	straight	1.03	11.0	7.7	4.9	1.6	-	-	-	-	-	-	-
Munguba	light grayish yellow brown	absent	medium	straight	0.50	13.3	10.0	4.5	2.2	-	-	-	0.12	178	0.021	0.57
Pará-Pará	very light grayish yellow brown	absent	medium	straight	0.33	16.1	9.0	6.0	1.5	562	89	313	0.12	187	0.022	0.44
Preciosa	dark grayish yellow-brown	absent	fine	straight to irregular	1.02	15.2	8.7	5.7	1.5	1875	181	997	-	-	-	-
Tachi preto	pale yellow-brown	distinct, conspicuous wavy growthring stripes	medium	irregular	0.63	13.8	8.4	4.7	1.8	1070	112	578	0.27	176	0.020	0.72
Tauari	very pale yellow	distinct, conspicuous growthring stripe	medium	straight	0.49	11.3	6.4	4.2	1.5	905	108	477	0.23	172	0.027	0.52
Ucuúba	weak yellow-brown	absent	medium to fine	straight	0.50	13.7	8.3	4.6	1.8	972	121	522	0.21	188	0.023	0.64
Urucú	light grayish yellow brown	faint growthring stripe	medium	straight	0.30	9.7	6.1	3.1	2.0	555	77	365	0.09	172	0.020	0.34

6. Discussion

In the introduction of this paper it was stated, that it is very unlikely that among the thousands of tropical Amazonian species that a few suitable woods can be found as substitutes for those traditionally being used for different components of musical instruments. At first sight this appears to be true and the results of this research project confirm that a number of selected tropical species come very close in their characteristics and properties to the traditional ones. However, it became clear during the investigation that it is difficult to find new species for a specific instrument component having the exact combination of features encountered in the traditional woods.

The question arises : What is required of a musical instrument as far as quality is concerned? A violin or guitar played by a concert soloist has to be of prime quality in sound and appearance. While violins used by students in music schools or guitars played for popular entertainment can be of a lower quality. In other words, a musical instrument does not necessarily have to be a Stradivarius violin, a Orige or Romanillos guitar, or a Steinway concert grand piano to satisfy the demands of a large number of people who want to play one instrument or another. Taking these considerations in to account the results of the investigation show to be very promising and several species and combinations of species allow for the manufacture of good quality instruments, which will be explained later when guitars actually manufactured from Amazonian species are discussed.

Based on characteristics and properties of the Amazonian woods the following selection has been made for different musical instruments components.

1. Stringed Instrument

a. Violin, viola, etc.

Table ("belly") : Freijó, Marupá, Morototó, and Munguba.

Back and sides : Amapá Doce, Tauari and Ucuúba.

Fingerboard, tailpiece, chinrest : Coração de Negro and Gombeira.

Bow : Lauro Chumbo *Licaria cayennensis* (Kosterm).

b. Guitars

Table : Freijó, Marupá, Morototó and Munguba.

Back and sides : Faveira Folha Fina, Jacarandá do Pará, Macacaúba and Muiracatiara.

Neck : Cedro and Urucú da Mata.

Fingerboard and bridge : Coração de Negro, Gombeira and Muirapixuna.

2. Wood Wind Instruments

a. Clarinets, Oboes, Flutes: Coração de Negro, Gombeira, Preciosa and Muirapixuna

b. Fagot: Muiracatiara.

3. Piano

Soundboard : Marupá and Morototó

Mechanism: Faveira Folha Fina, Munguba, Tauari and Ucuúba

All four species selected for the table of stringed instruments have favourable combinations of characteristic and properties, except for the dimensional stability of Freijó and Morototó. Promising for the backs and sides of violins are Amapá Doce, Tauari and Ucuúba, although the dimensional stability of Tauari is about the same as Freijó. The species appearing most suitable for backs of guitars are Faveira Folha Fina, Jacarandá do Pará, Macacaúba and Muiracatiara.

Coração de Negro and Gombeira have about the same properties as Ebony and can substitute the latter for fingerboards, tailpieces and chinrests in violins and for fingerboards and bridges in guitars. For guitars Muirapixuna can be used as well. The species Cedro, Mogno and Urucú da Mata are suitable to be used for necks, heads and heels in guitar manufacture because of their lightness, strength and dimensional stability.

It was mentioned above that the only wood really suitable for bows is Brasil wood *Caesalpinia echinata*, however, another species has been found that possesses about the same properties, that among others are, a rather straight grain and modulus

of elasticity in static bending of above 300.000 kg/cm², Louro Chumbo *Licaria cayennensis*.

For wood wind instruments, clarinets, oboes and flutes, the three species Coração de Negro, Gombeira and Preciosa appear to be the most suitable. All three have a very high density combined with a fine texture and work to an excellent finish in turning, boring and drilling. Furthermore, Coração de Negro and Gombeira turn black upon exposure to air and light. A favourable point for Preciosa is its stability, caused by deposits of oil that do not exist in the other two species. However, according to a clarinet maker in southern Brazil, an oil bath will solve this problem. The specie Muiracatiara could be used in the manufacture of the prototype fagots. Piano manufacturers in the southern Brazil have shown their interest in Marupá for soundboards and four species will be used by one manufacturer for testing the instrument mechanism, Faveira Folha Fina, Munguba, Tauari and Ucuúba.

The reactions from luthiers and instrument manufacturers has been very favourable and many requests reach the Forest Products Research Center to furnish wood from a variety of tested species for the manufacture of prototypes of a whole range of musical instruments.

To test the validity of the selection of species for different musical instrument components the classical guitar was chosen and it was decided to build a number of these instruments at the Forest Products Research Center using different combinations of species. So far three instruments have been completed having the same form of overall dimensions, the same system of fan strutting under the table and the same type of all metal strings. The following combinations of species have been used.

The following combination of species was used:

Guitar n°	Table	Back & Sides	Neck	Fingerboard & bridges
01	Marupá	Faveira Folha fina	Freijó	Gombeira
02	Marupá	Muiracatiara	Freijó	Gombeira
03	Freijó	Tuari	Urucú da mata	Gombeira

The criteria used in the species selection were : acoustics, sturdiness to resist the pull of the strings on the neck and body without distortions and lightness (weight) to maintain the balance of the instrument in the player's hands.

Three instruments tested by professional guitar players and their opinion asked about volume, balance, (treble/bass), decay, feel, boom, weight and brightness of each instrument.

The results of their observations can be summarized as follows:

Characteristic	Guitar n°		
	1	2	3
Volume	moderate	good	good
Balance	weak bass	good	good
Decay	fast fading	good	good
Feel	hard	best	moderate
Boom	none	none	none
Weight	heavy	medium	light
Brightness	heavy	good	best

The results of the tests speak for themselves. Guitar n° 1, was rated to be far inferior in quality. Guitars 2 and 3, were considered to be good instruments although the opinions were divided which of the two was the best instrument.

The research will be continued and more guitars produced to arrive at the best combination of species for the different instrument components. To start with Freijó will not be used any more for the neck as it is too heavy. Combinations such as Munguba or Morototó for tables and Macacaúba or Muiracatiara for backs and sides will be used. While the neck will be made of Mongo, Cedro or Urucú da Mata.

As mentioned above, instrument prototypes will be produced by luthiers and manufactures in the South of Brazil, in the near future

7. Conclusions

A summary of the conclusions follows:

1. The project involving the investigation of many different tropical Amazonian species for their suitability in the manufacture of musical instruments may be considered a success. Based on the research results a number of species potentially suitable for the different components of musical instruments could be selected. However, the final word will be given by the manufacturers and musicians.
2. Most of the species involved in this project are available in sufficiently large volumes in the different Amazon states guaranteeing a continuous supply of raw material in the future.
3. Although the wood technologist is not familiar with the requirements of the luthiers and musical instrument manufacturers, this project has proven that they can be quite helpful in selecting possible substitutes for traditional species that have been used for centuries.



Appendix

Appendix. 1

Specifications of the machines used in machining tests:

1. Production thickness plainer - bäuerle, model dm 63

Speed of Cutterhead: 3450 rpm

Cutting angle : 30°

Feed speed : 20m/min.

Feeding : manual

Cutting plane : radial

Knife marks : 8 per cm

Number of knives : 2

Cutting depth : 2.0 mm

2. Spindle shaper - bäuerle, model sfm/df90 (one spindle)

Speed of Cutterhead : 12000 rpm

Cutting Angle : 15°

Feeding : manual

Cutting plane : tangential

3. Drilling machine - Bäuerle, model LBO

Drilling speed : 3400 rpm

Bit : 2 chanel, straight edge

Feeding : manual

Diameters : 12 mm (end and tangential)

Bit : 15 mm (radial)

4. Two head wide belt sander - Timesaver, Inc., Model 352 - 2HD.

Abrasive belt speed 1^o : 1920 m/min.

Abrasive belt speed 2^o : 1290 m/min.

Feed speed : 12 m/min.

Sanding depth : 1.0 mm

Belt first head : 80 grit

Belt second Head : 100 grit

5. Lathe - Joineville

Spindle speed : 734 rpm

Technical cards:

- a). Belly, harmonica plate, piano mechanisms:
 - Freijó verdadeiro
 - Marupá
 - Munguba grande
 - Morototó
- b). Violin, guitar, fagot, back and sides; bassoon; piano mechanisms:
 - Amapá doce
 - Tauari
 - Ucuúba da terre firme
 - Jacarandá
 - Macacaúba
 - Muiracatiara
 - Faveira folha fina
- c). Neck:
 - Cedro
 - Mogno
 - Urucu de mata
- d). Clarinets, oboes, flutes; stringed instrument accessories:
 - Coração de negro
 - Gombeira
 - Muirapixuna
 - Preciosa

Pachira spp.
Munguba grande

Origin: Curuá-Una (Para).

General characteristics: Basic density 0.50 g/cm³, figure absent, medium texture, straight grain, weak brightness, light grayish yellow-brown color.

Machining: The wood presents excellent results in all machining operations (planing, milling, drilling, turning and sanding (sander No 100).

Dimensional stability: Absolute radial contraction is 4.5%, during absorption wood swelling is 0.12% per 1% variation in the moisture content, during desorption wood shrinkage is 0.13% per 1% variation in the moisture content. This wood has high dimensional stability.

Acoustic properties: Resonance frequency 178, resonance frequency (1st harmonica) 478, resonance frequency (2nd harmonica) 934, logarithmic decrement 0.021, speed of sound propagation 4733.

Applications: Belly for violins and guitars, piano mechanisms.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Shear	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)	End (kg)	Side (kg)
0.50	10.0	4.5	13.3	Dry at 12%							

KEY: ABC
 A - Medium value
 B - Standard deviation
 C - Number of samples

Cordia goeldiana
Freijó verdadeiro

Origin: Curuá-Una (Pará).

General characteristics: Basic density 0.49 g/cm³, figure of distinct strips, medium texture, straight grain, strong brightness, weak yellow-brown color.

Machining: An easy wood to work and presents excellent results in planing, milling and sanding operations.

Dimensional stability: Absolute radial contraction is 4.1%, absorption wood swelling is 0.24 per 1% variation in the moisture content, desorption wood shrinkage is 0.21 per 1% variation in the moisture content. Although this wood is less stable than Abeto and Plátano europeu, it is suitable for the bellies of stringed instrument.

Acoustic properties: Resonance frequency 195, resonance frequency (1st harmonica) 535, resonance frequency (2nd harmonica) 1044, logarithmic decrement 0.014, speed of sound propagation 5173.

Application: Bellies for violins, guitars, violas etc.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content Dry at 12%	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Sheer	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)				Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)
0.49	8.1	5.7	14.5		104	932	517	62	85	608	542

KEY: ABC
A - Medium value
B - Standard deviation
C - Number of samples

Simaruba amara
Marupá

Origin: Curuá-Una (Pará), Forest Reserve of the Superintendency of the Free Trade Zone, Manaus.

General characteristics: Basic density 0.40 g/cm³, figure absent, medium texture, straight grain, medium brightness, very light grayish brownish-yellow color.

Machining: An easy wood to work and presents excellent results in planing, milling and sanding operations and is good to regular to drill.

Dimensional stability: Absolute radial contraction is 3.4%, absorption wood swelling is 0.16 per 1% variation in the moisture content, desorption wood shrinkage is 0.14 per 1% variation in the moisture content. This wood has high dimensional stability.

Acoustic properties: Resonance properties 170, resonance properties (1st harmonica) 466, resonance frequency (2nd harmonica) 921, logarithmic decrement 0.21, speed of sound propagation 4519.

Applications: bellies for violins and guitars, sounding board for pianos.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content Dry at 12%	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Sheer	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)				Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)
0.40	6.6	3.4	10.7		82	664	352	47	71	439	267

KEY: ABC
A - Medium value
B - Standard deviation
C - Number of samples

Schefflera morototoni

Morototó

Origin: Curuá-Una (Pará), Forest Reserve for the Superintendency of the Free Trade Zone, Manaus.

General characteristics: Basic density 0.51 g/cm³, figure of faint growth-ring stripes, medium texture, straight grain, medium brightness, light grayish yellow-brown color.

Machining: The comportment of this wood in planing is excellent, in milling it is bad and drilling regular. It is recommended to use a fine sander (> n° 100).

Dimensional stability: Absolute radial contraction is 8.1%, absorption wood swelling is 0.23 per 1% variation in the moisture content, desorption wood shrinkage is 0.25 per 1% variation in the moisture content. This wood is dimensionally less stable than abeto and Plátano europeu.

Acoustic properties: Resonance frequency 202, resonance frequency (1st harmonica) 549, resonance frequency (2nd harmonica) 1064, logarithmic decrement 0.020, speed of sound propagation 5361.

Application: Bellies for guitars and violins and soundboard for pianos.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Sheer	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)				Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)
0.51	13.2	8.1	23.0	Div. 12%	113	725	405	46	105	489	357

KEY: ABC

A - Medium value

B - Standard deviation

C - Number of samples

Brosimum parinariodes

Amapá doce

Origin: Curuá-Una (Pará).

General characteristics: Basic density 0.54 g/cm³, figure of distinct pronounced ribbon, medium texture, interlocked grain, weak brightness, pale yellow-brown color.

Machining: The comportment of this wood in planing and milling operations is regular. It is very probable that with other cutting angles and speeds (rpm), it could produce better results. Drilling results on the radial and ends were excellent, tangential regular. Sanding with sanders No 80 and 100 showed regular results. It is recommended to use a fine sander (> no 100).

Dimensional stability: Absolute radial contraction is 4.9%, absorption wood swelling is 0.22 per 1% variation in the moisture content, desorption wood shrinkage is 0.27 per 1% variation in the moisture content. Test results showed less dimensional stability than Abeto and Plátano europeu.

Acoustic properties: Resonance frequency 186, resonance frequency (1st harmonica) 514, resonance frequency (2nd harmonica) 998, logarithmic decrement 0.023, speed of sound propagation 4959.

Application: Backs and sides of guitars and violins, etc.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Sheer	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)				Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)
0.54	7.9	4.9	13.3	Div. 12%	115	1043	581	82	102	734	567

KEY: ABC

A - Medium value

B - Standard deviation

C - Number of samples

Couratari oblongifolia

Tauari

Origin: Curuá-Una (Pará).

General characteristics: Basic density 0.49 g/cm³, figure of distinct conspicuous growth-ring stripes, medium texture, straight grain, medium brightness, very pale yellow-brown color.

Machining: A relatively easy wood to work, presents excellent results in planing and milling, regular to good in drilling and good in sanding (sander nº 100).

Dimensional stability: Absolute radial contraction is 4.2%, absorption wood swelling is 0.23 per 1% variation in the moisture content, desorption wood shrinkage is 0.20 per 1% variation in the moisture content.

Acoustic properties: Resonance frequency 172, resonance frequency (1st harmonica) 472, resonance frequency (2nd harmonica) 926, logarithmic decrement 0.027, speed of sound propagation 4571.

Application: Backs of violins, piano mechanisms.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Sheer	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)	End (kg)	Side (kg)
0.49	6.4	4.2	11.3	Dry at 12%	108	905	477	62	87	542	380

KEY: ABC
 A - Medium value
 B - Standard deviation
 C - Number of samples

Virola c.f. Michelli

Ucuúba da terra firme

Origin: Curuá-Una (Pará)

General characteristics: Basic density 0.50 g/cm³, figure absent, medium to fine texture, straight grain, weak brightness, weak yellow-brown color.

Machining: This wood presents excellent results in all machining operations (planning, milling, drilling and sanding (sander nº 100)).

Dimensional stability: Absolute radial contraction is 4.6%, absorption wood swelling is 0.21 per 1% variation in the moisture content, desorption wood shrinkage is 0.21 variation in the moisture content. This wood has a dimensional stability slightly inferior to the species Abeto and Plátano europeu.

Acoustic properties: Resonance frequency 186, resonance frequency (1st harmonica) 508, resonance frequency (2nd harmonica) 1012, logarithmic decrement 0.023, speed of sound propagation 4955.

Application: Violin backs, piano mechanisms.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Sheer	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)	End (kg)	Side (kg)
0.50	8.3	4.6	13.7	Dry at 12%	121	972	522	60	101	671	472

KEY: ABC
 A - Medium value
 B - Standard deviation
 C - Number of samples

Dalbergia spruceana
Jacarandá

Origin: Maués (Amazonas)

General characteristics: Basic density 0.92 g/cm³, figure of distinct conspicuous growth-ring stripes, medium texture, straight to wavy grain, strong brightness, dark grayish-brown color.

Machining: This wood presented excellent results in all the machining operations (planing, milling, drilling (end, tangential and radial), turning and sanding).

Dimensional stability:

Acoustic properties: Resonance frequency 170, resonance frequency (1st harmonica) 496, resonance frequency (2nd harmonica) 962, logarithmic decrement 0.017, speed of sound propagation 4599.

Application: Guitar back and sides.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Sheer	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)	End (kg)	Side (kg)
0.92	8.1	4.2	12.7	Dry at 12%							

KEY: ABC
A - Medium value
B - Standard deviation
C - Number of samples

Platymiscium ulei
Macacaúba

Origin: Curuá-Una (Pará).

General characteristics: Basic density 0.74 g/cm³, figure of distinct conspicuous growth-ring stripes, fine texture, straight to wavy grain, strong brightness, weak brown color.

Machining: An easy wood to work and presents excellent results in all machining operations (planing, milling, drilling (end, tangential and radial), turning and sanding).

Dimensional stability: Absolute radial contraction is 2.6%, absorption wood swelling is 0.24 per 1% variation in the moisture content, desorption wood shrinkage is 0.24 per 1% variation in the moisture content.

Acoustic properties: Resonance frequency 176, resonance frequency (1st harmonica) 518, resonance frequency (2nd harmonica) 1014, logarithmic decrement, speed of sound propagation 4676.

Application: Guitar backs and sides.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Sheer	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)	End (kg)	Side (kg)
0.74	4.6	2.6	6.6	Dry at 12%	106	1039	543	111	98	914	911

KEY: ABC
A - Medium value
B - Standard deviation
C - Number of samples

Astronium lecointei
Muiracatiara

Origin: Curuá-Una (Pará).

General characteristics: Basic density 0.72 g/cm³, figure of very irregular dark colored stripes strongly contrasting with the rest of the wood, fine texture, straight grain, medium brightness, pale yellow-brown color.

Machining: Due to the dark stripes on the woody tissue, the results of the machining operations varied. Probably better results could be obtained by using different cutting angles and speeds (rpm), when planing and milling. It is recommended to use a fine sander (> n° 100).

Dimensional stability: Absolute radial contraction is 4.6%, absorption wood swelling is 0.23 per 1% variation in the moisture content, desorption shrinkage is 0.23 per 1% variation in the moisture content. The dimensional stability of this wood registered as inferior to the woods Abeto and Plátano europeu.

Acoustic properties: Resonance frequency 180, resonance frequency (1st harmonica) 488, resonance frequency (2nd harmonica) 952, logarithmic decrement 0.020, speed of sound propagation 4804.

Application: Guitar backs, bassoons.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Sheer	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)				Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)
0.72	7.4	4.6	12.9	Dry at 12%	115	1026	531	113	100	662	604

KEY: ABC
A - Medium value
B - Standard deviation
C - Number of samples

Piptadenia suaveolens
Faveira folha fina

Origin: Tapajós Forest Reserve.

General characteristics: Basic density 0.77 g/cm³, figure of faint growth-ring stripes, medium texture, crossed irregular grain, medium brightness, pale yellow-brown color.

Machining: The comportment of this wood in planing is regular. It is probable that with different cutting angles and a change of speed (rpm) it would give better results. Excellent results were found in milling, drilling and sanding (sander n° 100).

Dimensional stability: Absolute radial contraction is 4.5%, absorption wood swelling is 0.22 per 1% variation in the moisture content, desorption wood shrinkage is 0.20 per 1% variation in the moisture content. This wood is slightly less instable than Plátano europeu.

Acoustic properties: Resonance frequency 170, resonance frequency (1st harmonica), resonance frequency (2nd harmonica) 912, logarithmic decrement 0.020, speed of sound propagation 4526.

Application: Guitar backs and piano mechanisms.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Sheer	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)				Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)
0.77	7.8	4.5	12.7	Dry at 12%	134	1285	697	115	126	733	785

KEY: ABC
A - Medium value
B - Standard deviation
C - Number of samples

Cedrela odorata

Cedro

Origin: Rondônia.

General characteristics: Basic density 0.43 g/cm³, figure absent, course texture, straight grain, weak brightness, pale yellowish-brown color.

Machining: An easy wood to work, it showed good results in all machining operations (planing, milling, drilling and sanding).

Dimensional stability: Absolute radial contraction is 4.3%, absorption wood swelling is 0.06 per 1% variation in the moisture content, desorption wood shrinkage is 0.09 per 1% variation in the moisture content. This wood has better dimensional stability than Abeto and Plátano europeu.

Acoustic properties: Resonance frequency 142, resonance frequency (1st harmonica) 406, resonance frequency (2nd harmonica) 800, logarithmic decrement 0.025, speed of sound propagation 3770.

Application: necks for violins, guitars, violas etc.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Sheer	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)	End (kg)	Side (kg)
0.49	6.4	4.3	12.2	Dry at 12%	81	714	446	58	76	450	324

KEY: ABC

A - Medium value

B - Standard deviation

C - Number of samples

Swietenia macrophylla

Mogno

Origin: Rondônia.

General characteristics: Basic density 0.48 g/cm³, figure of distinct pronounced ribbon, medium texture, interlocked grain, weak brightness, pale yellowish-brown color.

Machining: A relatively difficult wood to work, because of its interlocked grain. Its comportment in planing is regular, probably with other cutting angles and a speed change (rpm) better results could be produced. Drilling results are good to excellent. It is recommended to use a fine sander (> nº 100).

Dimensional stability: Absolute radial contraction is 3.3%, absorption wood swelling is 0.08 per 1% variation in the moisture content, desorption shrinkage is 0.16 per 1% variation in the moisture content. This wood has high dimensional stability.

Acoustic properties: Resonance frequency 166, resonance frequency (1st harmonica) 446, resonance frequency (2nd harmonica) 871, logarithmic decrement 0.019, speed of sound propagation 4422.

Application: Guitar fingerboard.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Sheer	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)	End (kg)	Side (kg)
0.48	5.7	3.3	9.9	Dry at 12%	66	562	323	72	89	517	435

KEY: ABC

A - Medium value

B - Standard deviation

C - Number of samples

Bixa arborea

Urucú da mata

Origin: Curuá-Una (Pará).

General characteristics: Basic density 0.30 g/cm³, figure of faint growth-ring stripes, medium texture, straight grain, medium brightness, light grayish yellow-brown color.

Machining: The comportment of this wood in planing, milling and sanding (sander n^o 100) operations is good to excellent. Drilling results vary from bad (tangential) to excellent (end). It is recommended to use sharp bores and change the speed (rpm).

Dimensional stability: Absolute radial contraction is 4.6%, absorption wood swelling is 0.21 per 1% variation in the moisture content, desorption wood shrinkage is 0.21 per 1% variation in the moisture content. This wood has a dimensional stability slightly inferior to the species Abeto and Plátano europeu.

Acoustic properties: Resonance frequency 172, resonance frequency (1st harmonica) 485, resonance frequency (2nd harmonica) 950, logarithmic decrement 0.20, speed of sound propagation 4572.

Application: Guitar finger board.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Sheer	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)	End (kg)	Side (kg)
0.30	6.1	9.7	9.7	Dry at 12%	77	555	365	40	64	396	198

KEY: ABC

A - Medium value

B - Standard deviation

C - Number of samples

Swartzia laxiflora

Coração de negro

Origin: Curuá-Una (Pará), Forest Reserve of the Superintendency of the Free Trade Zone, Manaus.

General characteristics: Figure of faint growth-ring stripes, fine texture, straight to irregular grain, weak brightness, black (achromatic) color.

Machining: A wood that shows excellent results in all machining operations (planing, milling, drilling (end, tangential and radial), turning and sanding).

Dimensional stability:

Acoustic properties:

Application: Keyboards, coronet tail, the manufacture of clarinets, oboes and flutes.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Sheer	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)	End (kg)	Side (kg)
1.00	10.0	6.5	17.0	Dry at 12%							

KEY: ABC

A - Medium value

B - Standard deviation

C - Number of samples

Swartzia leptopetala

Gombeira

Origin: Curuá-Una (Pará).

General characteristics: Basic density 0.83 g/cm³, figure absent, fine texture, straight grain, medium brightness, black (achromatic) color.

Machining: This wood presents excellent results in all machining operations (planing, milling, drilling (end, tangential radial), turning and sanding).

Dimensional stability:

Acoustic properties:

Application: Keyboards, coronet tails, chinrests, the manufacture of clarinets, oboes and flutes.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Shear	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)	End (kg)	Side (kg)
0.83	10.5	5.8	17.1	Dry at 12%							

KEY: ABC

A - Medium value

B - Standard deviation

C - Number of samples

Cassia scleroxylon

Muirapixuna

Origin: Curuá-Una (Pará).

General characteristics: Basic density 1.03 g/cm³, figure of faint growth-ring stripes, fine texture, straight grain, medium brightness, dark grayish yellowish-brown color.

Machining: This wood presents excellent results in all machining operations (planing, milling, drilling (end, tangential and radial), turning and sanding (sander nº 100).

Dimensional stability:

Acoustic properties:

Application: Manufacture of clarinets, oboes and flutes.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture Content	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Shear	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)	End (kg)	Side (kg)
1.03	7.7	4.9	11.0	Dry at 12%							

KEY: ABC

A - Medium value

B - Standard deviation

C - Number of samples

Aniba canellila

Preciosa

Origin: Curuá-Una (Pará), Forest Reserve of the Superintendency of the Free Trade Zone, Manaus.

General characteristics: Basic density 1.02 g/cm³, figure absent, fine texture, straight to irregular grain, medium brightness, dark grayish yellow-brown color.

Machining: This wood presented excellent results in all machining operations (planing, milling, drilling, turning and sanding) .

Dimensional stability:

Acoustic properties:

Application: The manufacture of clarinets, oboes and flutes.

Physical and mechanical properties:

Physical properties				Wood Moisture % Content	Mechanical properties						
Basic density (g/cm ³)	Shrinkage				Static bending		Parallel shrinkage	Perpendicular shrinkage	Sheer	Hardness	
	Tang	Radial	Volumetric		Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Module of rupture (kg/cm ²)	Tension at prop (kg/cm ²)	Tension at rupture (kg/cm ²)	End (kg)	Side (kg)
1.02	8.7	5.7	15.2	Dry at 1% Content	181	1875	997	206	188	1500	1528

KEY: ABC

A - Medium value

B - Standard deviation

C - Number of samples

8. Bibliografia / Bibliography

1. ANONYMOUS - Ahorn, informationsdienst Holz, No 8. Arbeitsgemeinschaft Holz e.v., Düsseldorf, West Germany.
2. ANONYMOUS - Fichte, Informationsdienst Holz, No 1. Arbeitsgemeinschaft Holz e.v., Düsseldorf, West Germany.
3. ANONYMOUS - The luthier's mercantile; catalog for stringed instrument makers. Healdsburg, Calif U.S.A. pp. 153.
4. ANONYMOUS - Wood Handbook, USDA Agriculture Handbook 72, U.S. Forest Products Lab. U.S. Dept. of Agriculture; 974. pp. 440-445.
5. BROWN, H.P. & PANSCHIN, A.J. - Textbook of wood technology, vol. 2 MC. Grawhill Book Co, 52. pp. 136-145.
6. Desch, H.E. - Timber; its structure and properties. Low and Brydone Ltd., Thetford U.K. 73, pp. 424.
7. Evans, T. and M.A. - Guitars, Music, History, Construction and Players from the Renaissance to Rock, Facts on File, New York, N.W. 10016, 77, pp. 479.
8. Heartmon, R.F.S. - The assessment of wood properties by vibrations and high frequency acoustic waves. For prod. Research Lab. Princess Risborough, U.K., pp. 49-54.
9. PEARSON, F.G.O. and C. WEBSTER - Timbers used in the musical instrument industry. For Prod. Research lab. Princess Risborough, U.K. (reprint), pp. 47.
10. RABELO DE SOUZA, M. - Madeiras para instrumentos musicais, Classificação Preliminar. LPF-IBDF., Ministério da Agricultura. Abril 82 pp. 28.
11. SLOOTEN, H.J. VANDER ET. AL. - Madeiras de Amazônia; Características e Utilização, vol. 1: Floresta Nacional do Tapajós; IBDF/CPNq, Brasília, 81 pp. 113.
12. WANGAARD, F.F. - Wood : Its structure and properties, vol. 1. the Pennsylvania State Univ., '81, pp.465.