

Reaproveitamento de Madeiras Provenientes de Podas Urbanas na Fabricação de Instrumentos Musicais

Hadassa Rachel Vasconcelos Soares

Ricardo Teles

Resumo

O presente trabalho avalia a capacidade acústica de madeiras provenientes de podas urbanas, investigando sua viabilidade como matéria-prima para o desenvolvimento e o design de instrumentos musicais, à luz dos princípios de ecodesign, sustentabilidade e design de produtos. A pesquisa caracteriza-se como experimental aplicada e utiliza a metodologia de design Double Diamond como estrutura para o desenvolvimento do projeto. Foram analisadas madeiras oriundas de podas de mangueira, ipê-branco e mogno, considerando galhos e troncos, com o objetivo de identificar possíveis aplicações na fabricação de instrumentos musicais. Com base nas análises físico-acústicas, foram pontuadas aplicações potenciais para cada madeira, sendo o mogno proveniente do tronco selecionado para a etapa prática. Essa etapa consistiu na construção de um pífano e na realização de testes de usabilidade com usuários. As avaliações contemplaram afinação, projeção sonora, nitidez, estabilidade das notas, ergonomia e resposta às variações de sopro. Os resultados indicaram desempenho acústico satisfatório, evidenciando o potencial das podas urbanas como alternativa sustentável e tecnicamente viável.

Palavras-chave: design de produtos, acústica, ecodesign, pífano.

Abstract

This study evaluates the acoustic performance of wood obtained from urban pruning, investigating its feasibility as a raw material for the development and design of musical instruments, in light of the principles of ecodesign, sustainability, and product design. The research is characterized as applied experimental and adopts the Double Diamond design methodology as the framework for project development. Wood from mango, white ipê, and mahogany trees was analyzed, considering both

branches and trunks, with the aim of identifying potential applications in the manufacture of musical instruments. Based on physical-acoustic analyses, potential applications were identified for each type of wood, with trunk-derived mahogany selected for the practical stage. This stage consisted of the construction of a fife and the execution of usability tests with users. The evaluations considered tuning, sound projection, clarity, note stability, ergonomics, and response to variations in airflow. The results indicated satisfactory acoustic performance, demonstrating the potential of urban pruning wood as a sustainable and technically viable alternative.

Keywords: product design; acoustics; ecodesign; fife.

INTRODUÇÃO

A arborização urbana é fundamental para o planejamento das cidades, favorecendo o microclima, a estabilidade do solo e o bem-estar da população. Contudo, sua manutenção exige podas periódicas, que geram grande volume de resíduos sem destinação adequada. Pesquisas indicam que as podas possuem potencial para aplicações em painéis, pequenos objetos e mobiliário de pequeno porte (CHAHUD et al., 2012; BARTHOLOMEU et al., 2020; KLINGENBERG, 2022). Apesar de suas boas propriedades físicas e mecânicas, a instabilidade dimensional devido à umidade limita algumas utilizações, motivando estudos para melhorar suas características (KOCAEFE et al., 2015).

No campo musical, ainda são escassas as investigações sobre o uso de madeiras brasileiras, especialmente as urbanas, na fabricação de instrumentos. Os principais avanços advêm do IPT e do LPF/SFB, que avaliaram cerca de 300 espécies quanto à aptidão acústica (SOUZA et al., 2007). Mesmo assim, a indústria permanece dependente de espécies tradicionais, já consolidadas acusticamente (FAGUNDES, 2003; FERNANDES, 2004; TELES, 2004).

Historicamente, o uso da madeira em instrumentos antecede sua fundamentação científica, inicialmente baseado em práticas empíricas (SLOOTEN; SOUZA, 1993). Posteriormente, demonstrou-se que o comportamento vibratório do

material depende da elasticidade e da dissipação interna de energia (BUCUR, 2006). Parâmetros como densidade, velocidade de propagação sonora e decaimento logarítmico são fundamentais para a seleção de madeiras (BUCUR, 2006).

Entre os métodos disponíveis para avaliação acústica em madeiras, destaca-se o da vibração forçada, que determina a frequência natural e decaimento logarítmico a partir da vibração induzida em corpos-de-prova suspensos pelos pontos nodais (HEARMON, 1965). Trata-se de um método acessível e compatível com tecnologias atuais.

O reaproveitamento de recursos urbanos, como a madeira proveniente de podas, tem ganhado relevância em práticas de design sustentável e desenvolvimento de produtos ambientalmente responsáveis. Nesse sentido, este estudo investiga a viabilidade de utilizar madeiras oriundas da arborização urbana na fabricação de instrumentos musicais, propondo uma alternativa para a valorização desse material subaproveitado e contribuindo para a redução do desperdício.

JUSTIFICATIVA

As podas urbanas, embora indispensáveis para a manutenção da arborização e para a segurança da população, geram grandes volumes de madeira que, em sua maioria, não recebem destinação qualificada. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2012), a gestão inadequada de resíduos urbanos evidencia não apenas um desafio ambiental, mas também uma oportunidade para o reaproveitamento de materiais e a promoção de soluções sustentáveis. Nesse contexto, investigar a viabilidade de empregar a madeira proveniente de podas urbanas na fabricação de instrumentos musicais torna-se relevante por integrar sustentabilidade, inovação e desempenho acústico, domínios que raramente convergem na literatura especializada.

A análise das propriedades físicas e vibratórias das madeiras provenientes de podas possibilita identificar seu potencial para uso na luteria, ampliando alternativas para o setor e reduzindo o desperdício de recursos urbanos. De acordo com Bucur (2006), as características acústicas da madeira estão diretamente relacionadas às suas propriedades físicas e estruturais, o que justifica sua investigação como matéria-prima para instrumentos musicais. Assim, a pesquisa contribui para a valorização de resíduos que seriam comumente descartados, promovendo práticas alinhadas aos princípios do ecodesign e do consumo responsável. Conforme Manzini e Vezzoli (2008), o ecodesign propõe o reaproveitamento consciente de materiais como estratégia para minimizar impactos ambientais e ampliar as possibilidades técnicas e criativas no desenvolvimento de produtos sustentáveis, fortalecendo a interseção entre experimentação material e responsabilidade ambiental.

PROBLEMA DE PESQUISA

Diante do baixo aproveitamento da madeira proveniente de podas urbanas e da busca por soluções sustentáveis no design de produtos, questiona-se: é viável utilizar esse material na fabricação de instrumentos musicais, considerando seus requisitos físicos, acústicos e seu potencial como alternativa ambientalmente responsável?

REFERENCIAL TEÓRICO

Ecodesign

Com base em Manzini e Vezzoli (2002), o ecodesign constitui uma abordagem projetual que integra variáveis ambientais em todas as etapas do desenvolvimento de produtos. Essa perspectiva amplia o papel do design ao considerar, além da função e da estética, os impactos associados à extração de matéria-prima, aos processos produtivos, à distribuição e ao descarte. Buscam-se soluções que reduzam tais impactos por meio da escolha de materiais de menor

pegada ambiental, da extensão da vida útil dos artefatos e do reaproveitamento de recursos tradicionalmente destinados ao resíduo. A utilização de madeiras provenientes de podas urbanas insere-se nesse contexto, ao transformar um material subaproveitado em insumo com potencial funcional e ambientalmente favorável.

Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

A Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelece diretrizes para a gestão integrada dos resíduos urbanos e para o manejo ambientalmente adequado de seus fluxos (BRASIL, 2010). Entre seus princípios centrais encontram-se a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a não geração de resíduos e a priorização da reutilização e da reciclagem. Nesse cenário, a madeira oriunda de podas urbanas é reconhecida como um recurso passível de reaproveitamento, viabilizando práticas alinhadas aos objetivos da PNRS e incentivando a valorização de materiais disponíveis no ambiente urbano (BRASIL, 2010).

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente os ODS 9, 11 e 12, dialogam diretamente com estratégias de reaproveitamento de materiais (ONU, 2015). O ODS 9 incentiva a inovação e o desenvolvimento de infraestrutura sustentável, estimulando abordagens criativas no design de produtos. O ODS 11 destaca a importância de cidades resilientes e da gestão eficiente de resíduos, enquanto o ODS 12 propõe padrões responsáveis de consumo e produção, reforçando a necessidade de práticas que reduzam os impactos ambientais (ONU, 2015).

Ciclo de Vida do Produto (ACV)

A ABNT NBR ISO 14040 estabelece diretrizes para a Análise do Ciclo de Vida (ACV), metodologia que avalia sistematicamente os impactos ambientais associados a todas as etapas de um produto, desde a extração da matéria-prima até sua disposição final (ABNT, 2009). A aplicação da ACV ao uso da madeira urbana permite compreender os custos ambientais envolvidos, auxiliando na tomada de decisões projetuais e na seleção de materiais que reduzam impactos ao longo do ciclo de vida. No contexto do design de produtos, esse método contribui para avaliar a viabilidade da madeira de poda em termos de sustentabilidade, desempenho e durabilidade (ABNT, 2009).

Classificação dos Instrumentos Musicais

A organização dos instrumentos musicais segundo seu princípio de produção sonora é fundamental nos estudos de organologia. O sistema de Hornbostel e Sachs (1914) é amplamente adotado por classificar os instrumentos em idiofones, membranofones, cordofones, aerofones e eletrofones, conforme a origem da vibração sonora. Essa estrutura conceitual fornece subsídios para análises construtivas e acústicas, permitindo relacionar características de materiais às demandas funcionais dos diferentes tipos de instrumentos.

Instrumentos Musicais e Acústica da Madeira

Hopkin (1996) destaca que a qualidade sonora dos instrumentos musicais está diretamente ligada às propriedades vibratórias da madeira. Características como densidade, rigidez e capacidade de ressonância influenciam a transmissão das ondas sonoras e, conseqüentemente, o desempenho acústico. Considerar esses parâmetros no estudo de madeiras provenientes de podas urbanas permite avaliar seu potencial para uso em instrumentos musicais e verificar se atendem aos requisitos estruturais e vibratórios necessários.

Estabilidade da Madeira

De acordo com Kocaefe et al. (2015), a estabilidade dimensional e as propriedades físicas da madeira impactam seu comportamento estrutural e acústico, especialmente em contextos sujeitos a variações de temperatura e umidade. A higroscopicidade, a contração e a resistência às mudanças ambientais têm efeito direto na durabilidade e na manutenção das propriedades vibratórias. A análise desses aspectos em espécies urbanas permite identificar materiais com maior aptidão para aplicações instrumentais.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a capacidade acústica de madeiras provenientes de podas urbanas, investigando sua viabilidade como matéria-prima no desenvolvimento e design de instrumentos musicais.

Objetivos Específicos

- Analisar as propriedades físicas e acústicas de madeiras das podas urbanas.
- Comparar acusticamente as madeiras estudadas com as madeiras empregadas em instrumentos musicais.
- Identificar a aplicação das madeiras de podas estudadas na fabricação de instrumentos musicais.
- Desenvolver um instrumento musical a partir de uma das podas estudadas, utilizando o método de design Double Diamond.

METODOLOGIA

Este estudo configura-se como uma pesquisa experimental aplicada, envolvendo a preparação de amostras padronizadas de madeiras provenientes de podas urbanas e a realização de ensaios para a análise de suas propriedades

físicas e acústicas. O desenvolvimento metodológico foi organizado de acordo com os objetivos específicos estabelecidos para a pesquisa.

Preparação das amostras para análise das propriedades

O material foi obtido por doação da NOVACAP, contemplando as espécies Mangueira (*Mangifera* sp.), Mogno (*Swietenia macrophylla*) e Ipê Branco (*Handroanthus* sp.), como mostrado na figura 1.

As amostras foram avaliadas quanto às propriedades físicas e acústicas no Laboratório de Produção Moveleira do IFB.

Figura 1 - Amostras das três espécies



Fonte: Autora (2025)

Propriedades físicas

Seguiram-se os procedimentos da NBR 7190:1997 para determinação das dimensões e densidade aparente.

A partir de galhos e troncos foram produzidas 69 amostras padronizadas (300 × 20 × 3 mm), orientadas no sentido radial.

As amostras foram medidas em paquímetro digital (0,01 mm), pesadas em balança de precisão (0,001 g), possuindo uma média de 0,620g/cm³ a 0,853g/cm³ (figura 2).

Figura 2 - Amostras das espécies padronizadas



Fonte: Autora (2025)

Propriedades acústicas

A avaliação acústica utilizou o método de vibração forçada conforme a norma ASTM E1875:2008, utilizando excitador electromagnético e sensores específicos. Pequenas chapas metálicas foram fixadas nas extremidades das amostras para o teste, sem impacto relevante na massa total (figura 3).

O excitador emitiu sinal progressivo entre 100 e 300 Hz, durante 150 segundos, com incremento de 0,01 Hz. A vibração captada foi registrada no software *Cool Edit Pro II*. As amostras foram apoiadas sobre dois fios de algodão para garantir a captação da harmônica fundamental.

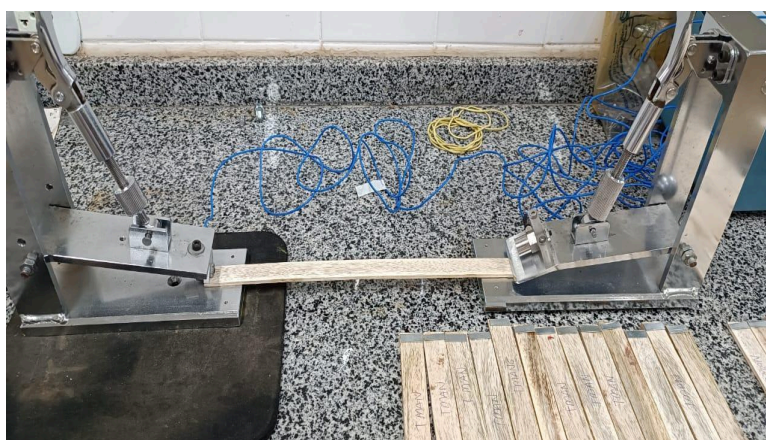
A ressonância foi identificada quando a frequência emitida coincidia com a frequência natural da madeira, possibilitando calcular:

- frequência natural de vibração (fr);
- decaimento logarítmico (DL);

- fator de qualidade (Q);
- coeficiente de amortecimento (ζ);
- perda específica (δ);
- velocidade de propagação do som (C);
- módulo dinâmico de elasticidade (MOEd).

Esses parâmetros permitiram avaliar comparativamente as três espécies padronizadas e suas potencialidades acústicas.

Figura 3 - Teste acústico



Fonte: Autora (2025)

Comparação com madeiras utilizadas em instrumentos musicais

Os resultados obtidos foram comparados com madeiras tradicionalmente empregadas na luteria, como jacarandá, cedro e mogno, considerando resistência, densidade, estabilidade dimensional, ressonância e trabalhabilidade.

Também foram discutidas madeiras brasileiras mencionadas na literatura, como cedro-rosa, jatobá, pau-ferro, sucupira, copaíba, imbuia, peroba, ipê e espécies amazônicas descritas por Souza (2007), como maçaranduba, tatajuba, cumaru e andiroba.

Identificação da aplicação das podas estudadas na fabricação de instrumentos musicais

Após a análise acústica das três espécies, realizada separadamente entre galhos e troncos, e a posterior correlação dos resultados por meio de gráficos e tabelas, tornou-se possível identificar as propriedades mais adequadas de cada espécie. Dessa forma, foi possível direcionar o uso de cada madeira para áreas instrumentais específicas, considerando seus pontos fortes e limitações em relação às exigências acústicas.

Desenvolvimento de um instrumento utilizando o modelo Double Diamond (DESIGN COUNCIL, 2015)

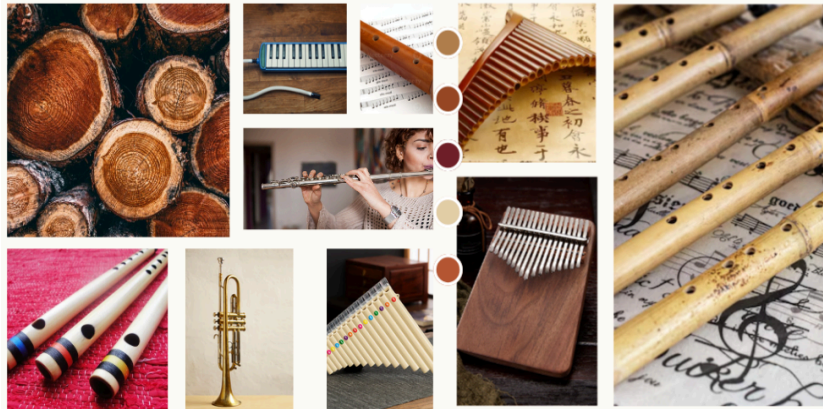
Construir um instrumento musical, podendo ou não manter materiais e design originais, envolve princípios fundamentais do processo projetual. Segundo Löbach (2001), o design compreende atividades sistemáticas de concepção e planejamento, incluindo definição de requisitos e seleção de materiais. Baxter (2011) acrescenta que o desenvolvimento de produtos requer decisões fundamentadas sobre métodos de fabricação, desempenho e funcionalidade.

A construção de um instrumento, portanto, exige organização metodológica, ferramentas adequadas e execução controlada, caracterizando um processo de design. Neste estudo, o modelo Double Diamond (DESIGN COUNCIL, 2015) orientou o desenvolvimento e validação da madeira de poda como material alternativo para instrumentos de sopro.

O método é dividido em quatro etapas: descoberta, definição, desenvolvimento e entrega.

A figura 4 indica a construção do painel semântico para referências de instrumentos de sopro e inspirações.

Figura 4 - Painel semântico



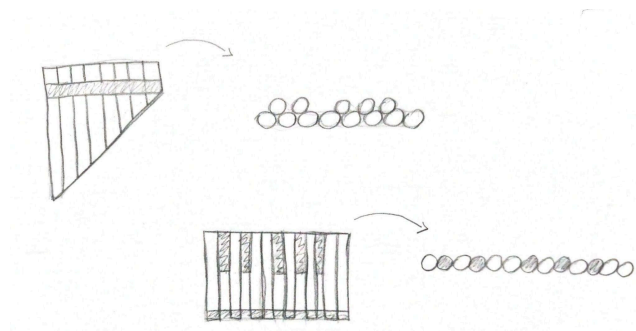
Fonte: Autora, com fontes externas (2025)

Etapa de Descoberta

Esta etapa incluiu a análise das madeiras disponíveis e a identificação de diferentes possibilidades de instrumentos de sopro que poderiam ser construídos.

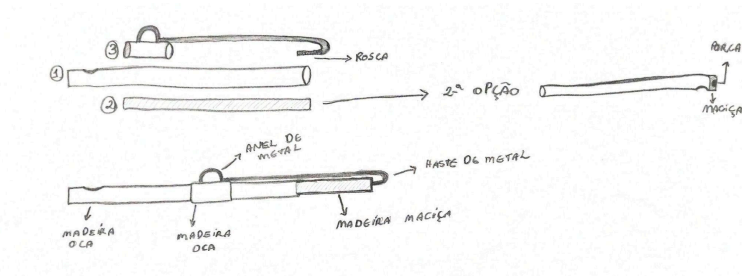
Nesta fase foram geradas alternativas de forma ampla, considerando tubos sonoros simples, instrumentos transversais, verticais e variações geométricas possíveis (figuras 5 e 6). As propriedades acústicas do mogno proveniente de poda (tronco) indicaram que o material apresentava condições mais adequadas para a fabricação de um instrumento de sopro, direcionando a etapa seguinte.

Figura 5 - Geração de alternativas 1 e 2



Fonte: Autora (2025)

Figura 6 - Geração de alternativa 3



Fonte: Autora (2025)

Etapa de Definição

A partir das alternativas levantadas na fase anterior, definiu-se como objetivo avaliar a viabilidade do mogno de poda para construção de um instrumento de sopro simples. O pífano foi selecionado entre as alternativas devido à geometria linear, facilidade de prototipagem e adequação acústica para análises iniciais.

Etapa de Desenvolvimento

Foram produzidas seis peças de teste para avaliar resistência, homogeneidade e comportamento acústico durante perfuração e desbaste. Estas foram avaliadas qualitativamente e visualmente, onde foram identificados problemas relacionados a empenos, desvios de perfuração e rachaduras.

A figura 7 apresenta o resultado dos testes feitos.

Figura 7 - Peças de teste



Fonte: Autora (2025)

Procedimentos de fabricação

Inicialmente, o material foi fixado em um torno mecânico com longarina para alinhamento e estabilização. Em seguida, realizou-se a perfuração longitudinal utilizando brocas de 8 mm e 10 mm. A furação da embocadura e das notas foi executada em furadeira de bancada, com brocas de 5, 6, 7 e 8 mm. A modelagem da embocadura foi feita manualmente com o uso de lima, seguida de desbaste em máquina de lixar elétrica para regularização das superfícies. Os diâmetros e parâmetros adotados, foram definidos com base em diretrizes técnicas estabelecidas sobre construção de pífanos de bambu (SUGASTI, 2012; SASAOKA et al., 2018; MELO et al., 2024). *Desenhos encontram-se no Apêndice A e B.*

A figura 8 indica o processo de furação do corpo do pífano e a figura 9 mostra os elementos que contribuiriam para o processo de acabamento.

Figura 8 - Processo de furação do pífano



Autora (2025)

Figura 9 - Processo de acabamento do pífano



Autora (2025)

Testes com usuários

Dois flautistas avaliaram a qualidade sonora (estabilidade, projeção) e o posicionamento dos orifícios quanto a conforto e ergonomia. As observações subsidiaram ajustes finais.

Etapa de Entrega

Após ajustes, realizou-se acabamento final com lixas de grão 60 a 220 e aplicação com cera de carnaúba, compatível com instrumentos de sopro e sem prejuízo às vibrações da madeira (figura 10).

Figura 10 - Produto final (pífano), fabricado com poda de mogno



Fonte: Autora (2025)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Viabilidade acústica da madeira de poda urbana

Os valores médios obtidos evidenciam diferenças significativas entre as espécies analisadas, incluindo galhos e troncos (figuras 11 e 12):

Mangueira: tanto no galho quanto no tronco, apresentou baixa densidade aparente ($0,620 \text{ g/cm}^3$) e valores intermediários de frequência de ressonância ($\sim 135\text{--}139 \text{ Hz}$). O fator de qualidade (Q) foi moderado, entre 66,7 e 78,5, sugerindo uma resposta vibratória com sustain razoável, embora inferior a espécies de maior desempenho. A velocidade de propagação do som (C) manteve-se na faixa de

~3700 m/s, enquanto o MOEd ficou entre 84–87 GPa, caracterizando a madeira como leve, com bom potencial para transmissibilidade sonora, mas menor rigidez em comparação às demais.

Ipê: destacou-se como a madeira de maior densidade (0,782–0,794 g/cm³) e também como a que apresentou os melhores índices acústicos. Os valores de Q foram elevados (113–117), acompanhados por baixas taxas de amortecimento ($\zeta \approx 0,0045$; $\delta \approx 0,028$ –0,029), o que indica baixo nível de dissipação de energia e alta capacidade de sustain. Além disso, exibiu velocidades de propagação superiores a 4400 m/s e um MOEd extremamente elevado (154–158 GPa), tornando-a a espécie mais rígida e eficiente na transmissão vibratória, ideal para aplicações de alta performance acústica.

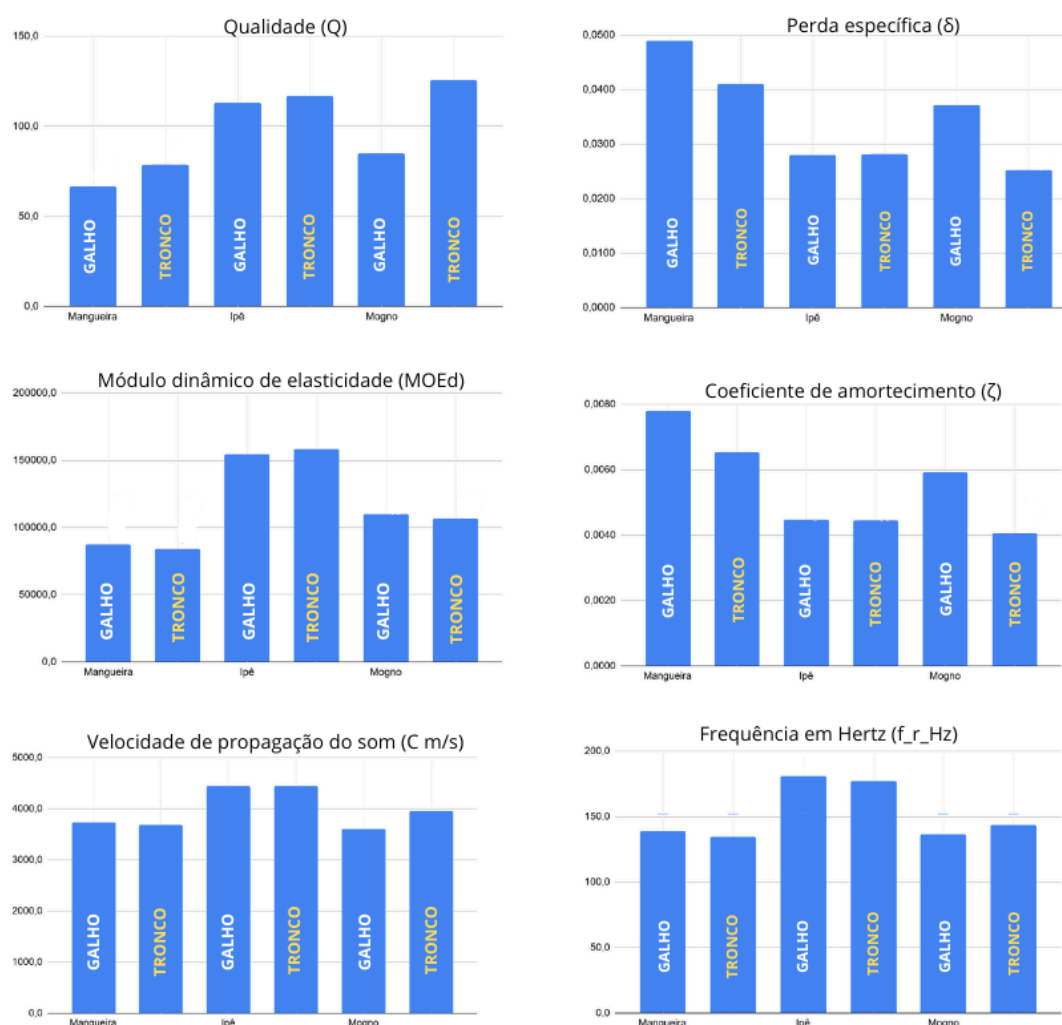
Mogno: apresentou comportamento intermediário entre Mangueira e Ipê. A densidade foi relativamente alta nos galhos (0,853 g/cm³) e menor no tronco (0,680 g/cm³). O tronco exibiu desempenho melhor, com Q = 125,7 e baixa perda específica ($\delta = 0,0252$), revelando ótimo potencial acústico. A velocidade do som foi de ~3964 m/s e o MOEd de 107 GPa, valores que indicam boa rigidez e transmissão sonora. Nos galhos, entretanto, o desempenho foi inferior (Q = 84,7; C ≈ 3600 m/s; MOEd ≈ 110 GPa), sugerindo maior dissipação energética e resposta acústica mais curta em comparação ao tronco.

Figura 11 - Tabela de resultados acústicos

Madeira	Posição	Estatística	Dap (g/cm ³)	f _r -Hz	Q	ζ	δ	C(m/s)	MOEd
Mangueira	Galho	Média	0,620	139,1	66,7	0,0078	0,0490	3731,0	87488,5
	Tronco	Média	0,620	134,5	78,5	0,0065	0,0410	3679,6	84339,2
Ipê	Galho	Média	0,782	181,3	113,0	0,0045	0,0280	4447,5	154775,7
	Tronco	Média	0,794	177,1	116,8	0,0045	0,0281	4445,5	158488,9
Mogno	Galho	Média	0,853	136,2	84,7	0,0059	0,0372	3600,3	109937,4
	Tronco	Média	0,680	143,8	125,7	0,0041	0,0252	3964,5	107024,1
Mangueira	Galho	DesvPad	0,020	15,8	13,0	0,002	0,011	400,6	19970,5
	Tronco	DesvPad	0,024	16,9	12,8	0,001	0,007	358,9	15174,0
Ipê	Galho	DesvPad	0,040	8,7	10,9	0,000	0,003	213,6	15059,6
	Tronco	DesvPad	0,030	19,1	25,1	0,001	0,006	357,3	28520,5
Mogno	Galho	DesvPad	0,074	13,1	6,1	0,000	0,003	350,0	12662,2
	Tronco	DesvPad	0,044	8,5	15,8	0,000	0,003	181,1	12009,6
Mangueira	Galho	CV	3,23%	11,36%	19,50%	22,61%	22,67%	10,74%	22,83%
	Tronco	CV	3,80%	12,54%	16,27%	16,29%	16,39%	9,75%	17,99%
Ipê	Galho	CV	5,10%	4,79%	9,64%	9,52%	9,71%	4,80%	9,73%
	Tronco	CV	3,73%	10,76%	21,46%	22,12%	22,35%	8,04%	18,00%
Mogno	Galho	CV	8,66%	9,63%	7,25%	6,95%	7,45%	9,72%	11,52%
	Tronco	CV	6,43%	5,91%	12,60%	11,96%	12,81%	4,57%	11,22%

Fonte: Autora (2025)

Figura 12 - Gráficos dos resultados acústicos



Fonte: Autora (2025)

A madeira de Mangueira, demonstrou baixa densidade, rigidez moderada e elevado fator de qualidade (Q), características desejáveis para a construção de instrumentos de cordas leves, como o berimbau.

O Ipê, por sua vez, destacou-se por sua alta densidade, excelente rigidez (MOEd) e notável capacidade de ressonância, configurando-se como um material promissor para instrumentos de percussão melódica, como xilofone.

Já o Mogno, devido à sua versatilidade, apresentou potencial de aplicação em diferentes famílias instrumentais, incluindo sopros e percussões não melódicas.

Avaliação de usabilidade

As avaliações de usabilidade realizadas com dois flautistas permitiram validar a qualidade sonora e a funcionalidade do pífano produzido em madeira de mogno proveniente de poda urbana. Os participantes analisaram projeção sonora, nitidez, afinação, ergonomia e resposta do instrumento durante a execução (figuras 13 e 14).

Figura 13 - Flautista 1 durante o processo de avaliação



Fonte: Autora (2025)

Figura 14 - Flautista 2 durante o processo de avaliação



Fonte: Autora (2025)

Os testes indicaram que o pífano apresentou desempenho acústico satisfatório, produzindo um som agudo com afinação adequada para a proposta experimental do estudo, afinada em dó maior. Os flautistas relataram que a emissão sonora ocorreu de forma consistente, permitindo a execução das notas esperadas para um instrumento dessa categoria, sendo possível resultados maiores com treinos técnicos específicos ao instrumento. Esses resultados demonstram que a poda de mogno apresentou comportamento compatível com as exigências básicas de instrumentos de sopro simples em termos acústicos.

Quanto à ergonomia, verificou-se que o posicionamento dos orifícios não gerou desconfortos significativos, indicando que o processo de perfuração e definição das medidas foi eficaz para garantir um manuseio funcional. Assim, tanto as características acústicas quanto as operacionais mostraram-se coerentes com o objetivo proposto.

De modo geral, os achados reforçam a viabilidade da fabricação de um pífano a partir de madeira de poda urbana, evidenciando que, mesmo sem o uso de madeiras comerciais selecionadas, é possível alcançar um desempenho funcional relevante. Essa constatação contribui para a discussão sobre o reaproveitamento de resíduos urbanos no design de produtos acústicos, alinhando-se ao ecodesign e às iniciativas de sustentabilidade.

Apesar da escala reduzida dos testes e da avaliação qualitativa limitada a dois usuários, os resultados oferecem indícios consistentes do potencial da madeira de poda para aplicações musicais, destacando a importância de estudos futuros com maior número de amostras e análises acústicas complementares.

CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que madeiras de podas urbanas são viáveis para a fabricação de instrumentos musicais. Os testes com flautistas confirmaram a qualidade sonora do produto proposto, o pífano, sendo utilizado com madeira de poda, indicando que esse material pode substituir alternativas tradicionais da luteria.

Conclui-se que o reaproveitamento de recursos urbanos reforça práticas de design sustentável e abre espaço para novas pesquisas sobre materiais alternativos no desenvolvimento de produtos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM E1875-08 – Standard test method for dynamic Young's modulus, shear modulus, and Poisson's ratio by sonic resonance. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

BARTOLOMEU, C. S.; SOUSA, C. S. M. S.; BRAZOLIN, S. De árvore invasora à matéria-prima – pesquisa sobre o potencial de uso da leucena para o design de produtos. *Estudos em Design*, v. 28, n. 2, 2020.

BAXTER, Mike. *Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos*. 5. ed. São Paulo: Blücher, 2011.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Plano Nacional de Resíduos Sólidos*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2012.

BUCUR, Voichita. *Acoustics of wood*. 2. ed. Berlin: Springer, 2006.

CHAHUD, E.; LAHR, F. A. R.; BLECHA, K. A.; NASCIMENTO, M. F.; BERTOLINI, M. da S. Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de madeira a

partir de resíduos de podas de árvores urbanas. *Revista de Cultura e Extensão USP*, v. 8, p. 109–122, 2012.

DESIGN COUNCIL. *The Design Council's framework for innovation: the Double Diamond*. London: Design Council, 2015.

FAGUNDES, P. V. *Utilização de espécies madeireiras amazônicas para fabricação do corpo da gaita diatônica*. Brasília: UnB – Departamento de Engenharia Florestal, 2003.

FERNANDES, G. A. *Avaliação de madeiras brasileiras para utilização em guitarras elétricas*. Brasília: UnB – Departamento de Engenharia Florestal, 2004.

HEARMON, R. F. S. The assessment of wood properties by vibration and high frequency acoustic waves. In: *2nd Symposium NDT Proceedings*. Washington State University, p. 49–66, 1965.

HOPKIN, B. *Musical instrument design: practical information for instrument making*. Tucson: See Sharp Press, 1996.

HORNBOSTEL, Erich M. von; SACHS, Curt. Systematik der Musikinstrumente: Ein Versuch. *Zeitschrift für Ethnologie*, v. 46, p. 553–590, 1914.

KLINGENBERG, D. *Caracterização da madeira da arborização urbana visando sua valorização em produtos com maior valor agregado*. 2022. Dissertação (Mestrado) – USP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

KOCAEFE, D.; HUANG, X.; KOCAEFE, Y. Dimensional stabilization of wood. *Wood Structure and Function*, Topical Collection. Springer International Publishing AG, 2015.

LÖBACH, Bernd. *Design industrial: bases para a configuração dos produtos industriais*. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. *Product–service systems and sustainability: opportunities for sustainable solutions*. Paris: UNEP, 2002.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. *O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais*. São Paulo: Edusp, 2008.

MELO, Marcondes Menezes de et al. Construção do pífono como proposta para o ensino de física. *A Física na Escola*, v. 22, 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: ODS 9, 11 e 12*. Nova York: ONU, 2015.

SASAOKA, Silvia; PEREIRA, Marco A. R.; SANTOS, Gabriel F. O pífono de bambu: o músico artífice de seu instrumento. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN*, 13., 2018, Joinville. *Anais...* Joinville: Univille, 2018.

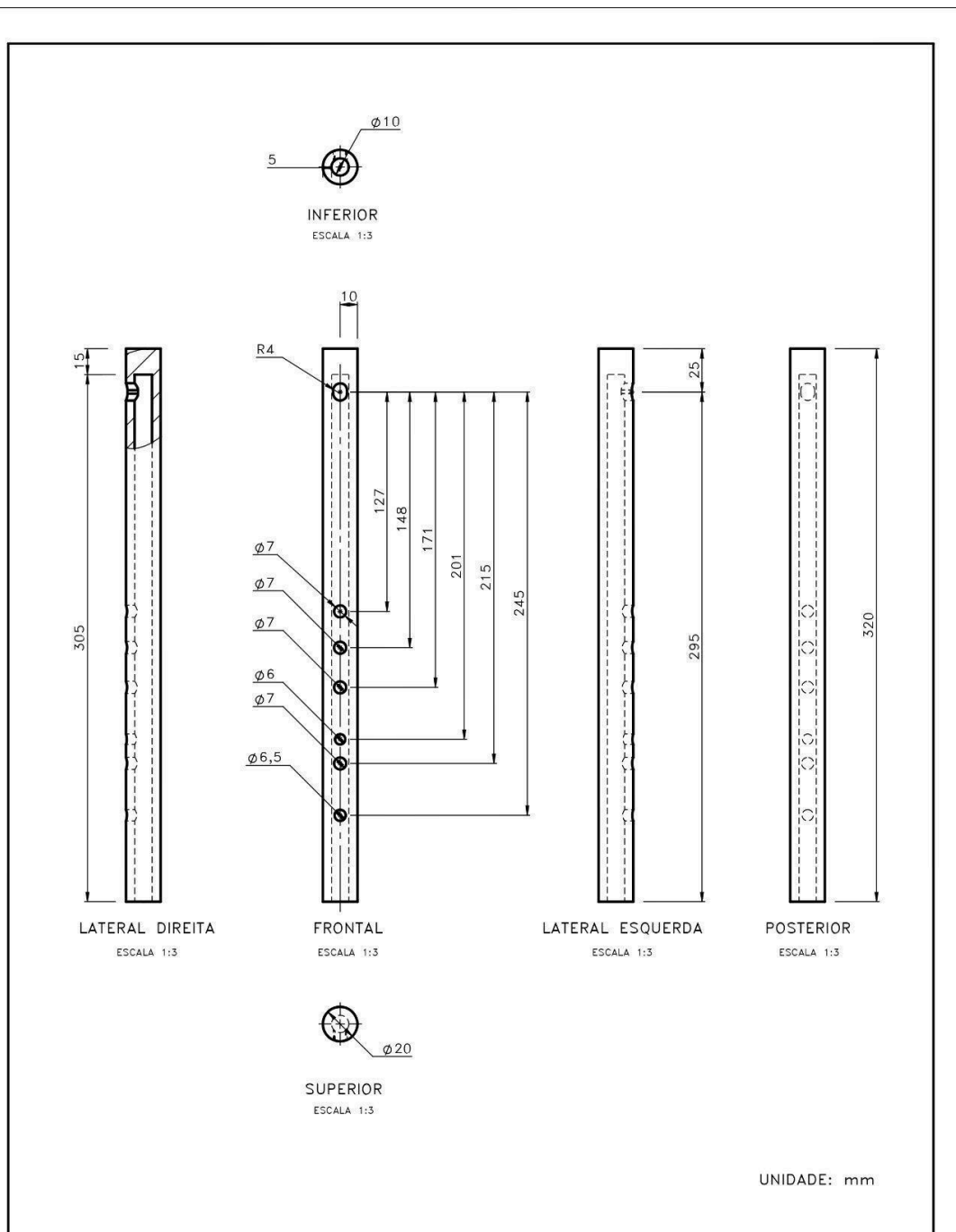
SLOOTEN, H. J. van der; SOUZA, M. R. de. *Avaliação das espécies madeireiras da Amazônia selecionadas para manufatura de instrumentos musicais*. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 1993.

SOUZA, M. R.; SOUZA, M. H.; CAMARGOS, J. A. A.; TELES, R. F. *Avaliação de madeiras amazônicas para utilização em instrumentos musicais*. Brasília: IBAMA/LPF, 2007.

SUGASTI, Luciana Bergamaschi Felizola. *Propriedades físicas e acústicas de pífanos fabricados com Bambusa tuldoides Munro*. 2012. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília.

TELES, R. F. *Avaliação de madeiras amazônicas para utilização em instrumentos musicais*. Brasília: IBAMA/CNPq, 2004. Relatório de projeto PIBIC.

APÊNDICE A — DESENHO TÉCNICO



INSTITUTO FEDERAL DE BRASÍLIA - CAMPUS SAMAMBAIA



ESTUDANTE:
HADASSA RACHEL VASCONCELOS SOARES

ORIENTADOR:
RICARDO TELES

PROJETO:
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PROCESSO BÁSICO:
USINAGEM

ESCALA:
1:3

NOME DA PEÇA OU MONTAGEM:
PIFANO

TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE:
LIXAMENTO E CERA

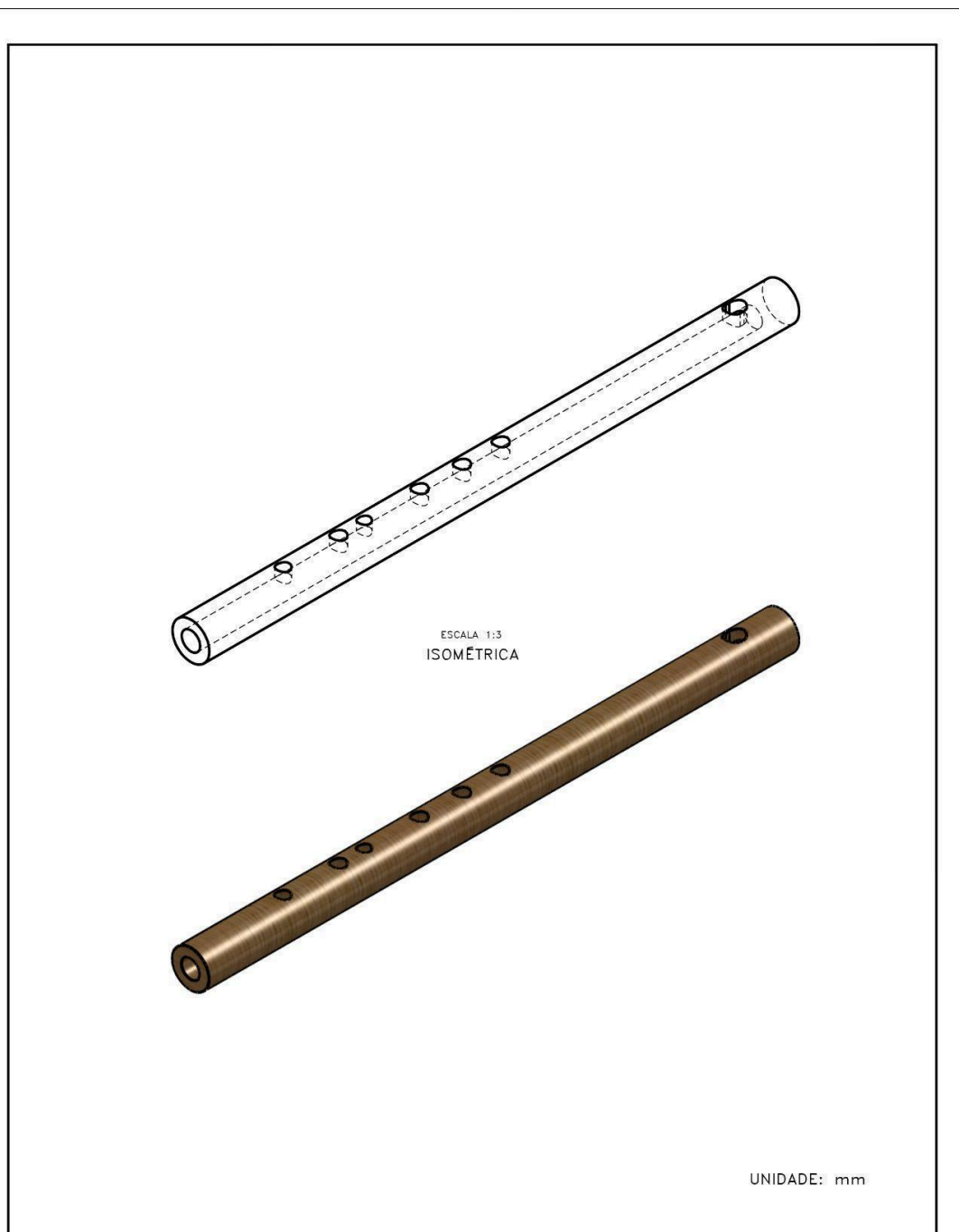
UNIDADE:
MILÍMETROS

MATERIAL:
MOGNO (PODA TRONCO)

TIPO:
VISTAS

FOLHA:
01/02

APÊNDICE B — ISOMÉTRICA



INSTITUTO FEDERAL DE BRASÍLIA - CAMPUS SAMAMBAIA



ESTUDANTE:

HADASSA RACHEL VASCONCELOS SOARES

ORIENTADOR:

RICARDO TELES

PROJETO:

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PROCESSO BÁSICO:

USINAGEM

ESCALA:

1:3

NOME DA PEÇA OU MONTAGEM:

PÍFANO

TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE:

LIXAMENTO E CERA

UNIDADE:

MILÍMETROS

MATERIAL:

MOGNO (PODA TRONCO)

TIPO:

ISOMÉTRICA

FOLHA:

02/02