

# PROPOSTA METODOLÓGICA PARA DEFINIÇÃO DE FAIXAS DE VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE ULTRASSOM NA GERAÇÃO DE IMAGENS TOMOGRÁFICAS EM ÁRVORES

**Palavras-Chave:** inspeção de árvores, tomografia ultrassônica em árvores, cavidades em árvores, biodeterioração em árvores.

**Autores(as):**

**SILAS SOUSA SANTOS, FEAGRI – UNICAMP**

**Prof<sup>(a)</sup>. Dr<sup>(a)</sup>. RAQUEL GONÇALVES (orientadora), FEAGRI - UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO:

A importância de árvores e de florestas para o equilíbrio do ecossistema no ambiente urbano é bastante conhecida e difundida. Essa importância crescente está ligada aos eventos climáticos decorrentes do aumento de temperatura que o planeta vem sofrendo nas últimas décadas. Contudo, árvores em ambiente urbano podem ser protagonistas de acidentes, e isso a torna um grande desafio para gestores públicos. Dessa forma, é necessário selecionar a espécie de árvore adequada para o plantio em função do local e, também, realizar o manejo, principalmente em árvores mais antigas, que já ocupavam os espaços antes do desenvolvimento das cidades e uso de equipamentos urbanos (Lüttge & Buckeridge, 2023). O manejo do estado fitossanitário é realizado em diferentes níveis, desde análises visuais (níveis 1 e 2) até inspeções com uso de equipamentos (nível 3), tais como a tomografia (acústica ou por impedância elétrica) e a resistência à perfuração.

A tomografia ultrassônica tem sido vista como uma ferramenta importante na avaliação do risco de queda em árvores (Linhares et al, 2021), mas a qualidade das imagens depende de vários fatores como o equipamento utilizado (Lincona, 2022), o número de pontos de medição (Palma & Gonçalves, 2022) e os interpoladores utilizados na geração das imagens (Palma et al, 2022; Espinosa et al, 2019).

O GEPEND da FEAGRI/UNICAMP tem atuado há muitos anos no desenvolvimento e na avaliação de metodologia simplificada para a obtenção de imagens tomográficas para avaliação de árvores (Secco 2011, Reis 2017, Palma 2017, Palma et al. 2018, Reis 2021, Palma 2022). Dentre os avanços mais recentes está a metodologia para obtenção de faixa de velocidade que identifiquem zonas do tronco com madeira íntegra, madeira com biodeterioração e cavidades, para a geração da imagem tomográfica (Palma et al, 2022). Tendo em vista a variabilidade da madeira, a adoção de uma velocidade padrão não é adequada, e por isso as faixas de velocidades são adotadas com valores

referenciais obtidos na própria região do disco que está sendo inspecionado, em geral a velocidade máxima ( $V_{máx}$ ). A imagem tomográfica é então construída utilizando faixas de velocidade referenciadas à  $V_{máx}$ , aplicando como interpolador o método das elipses proposto por Du et al. (2015), e utilizando filtro de mediana para suavizar os contornos da imagem, minimizando interferências inerentes da interpolação. Entretanto, essa metodologia foi validada apenas para discos da espécie Sibipiruna, sendo a validação para outras espécies fundamental, visto que a velocidade de propagação da onda varia entre diferentes espécies e essa variação pode interferir nas faixas de velocidade adotadas para geração de imagens, afetando a acurácia da tomografia. Assim, o objetivo deste projeto de Iniciação Científica foi verificar a acurácia obtida em imagens geradas por tomografia ultrassônica, utilizando a metodologia proposta por Palma et al. (2022) para a espécie Sibipiruna, em discos de madeira de diferentes espécies.

## **METODOLOGIA:**

A metodologia utilizada para essa pesquisa seguiu as seguintes etapas: Etapa 1 - Ensaio de tomografia ultrassônica em discos de madeira, retirados de árvores suprimidas do campus da UNICAMP em Barão Geraldo. O ensaio foi realizado conforme metodologia já consolidada pelo GPEND, na qual é utilizado um equipamento de ultrassom convencional (USLab) e transdutores exponenciais de 45 kHz. O número de pontos ( $n$ ) na malha de difração (Figura 1) é adotado de acordo com a circunferência ( $C$ ) de cada disco (Palma & Gonçalves, 2022), sendo  $n = 5 C$  (em metros). Após definir o número de pontos de medição, o disco é marcado e o ensaio é feito percorrendo ponto a ponto dessa malha. No ponto 1 o transdutor emissor é fixado enquanto o transdutor receptor percorre os demais pontos de forma sucessiva. Em seguida o transdutor emissor é posicionado no ponto 2 e o processo é repetido de forma sucessiva até que se obtenha o tempo de propagação da onda de ultrassom em todas as rotas de propagação das ondas (Figura 1).

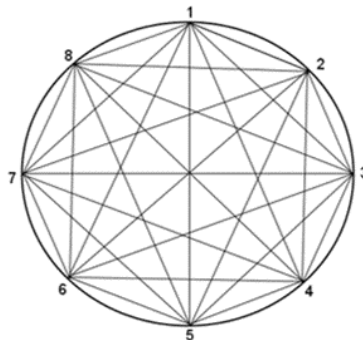


Figura 1 – Exemplo de malha de difração com 8 pontos em um disco de madeira.

Etapa 2 - Preparação dos discos para geração e avaliação das imagens. Nesta etapa os discos, são polidos utilizando lixas de diferentes gramaturas e, em seguida, fotografados para obtenção dos pontos de contorno, bem como para avaliação da condição real das zonas de madeira íntegra, zonas de madeira com biodeterioração e zonas de madeira com cavidade (Figura 2).



Figura 2 – Exemplo de disco de ligustro japonês polido, demonstrando cavidade e biodeterioração com marcações de pontos de contorno para malha de difração de 8 pontos.

Etapa 3 - Geração de Imagens tomográficas. Nesta etapa as imagens são geradas utilizando software desenvolvido pelo grupo de pesquisa (ImageWood 3.1). Para a geração da imagem são necessárias duas planilhas, uma delas referente ao contorno e a outra ao tempo de propagação da onda de ultrassom. As coordenadas do contorno (Planilha 1) são obtidas a partir da imagem da superfície do disco, utilizando o ImageJ (software de código aberto para trabalhar com imagens). Nos pontos de medição da malha de difração, a combinação das coordenadas do contorno permite obter, para cada ponto de medição, a coordenada do ponto inicial e a coordenada do ponto final. A esses dados acrescenta-se o tempo de propagação da onda na rota (Planilha 2) e, de posse desses dados, o software calcula as velocidades de propagação das ondas nas rotas de propagação da malha de difração (Figura 1). Essas duas planilhas foram inseridas no gerador de imagem no qual foram adotadas as três faixas de velocidade obtidas para a espécie *Sibipiruna*: 0% a 40%  $V_{m\acute{a}x}$  na cor vermelha, indicativa de cavidade; de 40% a 45%  $V_{m\acute{a}x}$  na cor laranja, indicativo de biodeterioração) e de 45% a 100%  $V_{m\acute{a}x}$  na cor amarela, indicativo de madeira íntegra. Essas faixas, obtidas para a *sibipiruna*, foram utilizadas para analisar se são também adequadas para as demais espécies testadas (Tabela 1). A imagem obtida foi filtrada com o filtro de mediana utilizando ImageJ.

Tabela 1. Espécies arbóreas dos discos avaliados na pesquisa

N°	Nome popular	Nome científico	N°	Nome popular	Nome científico
1	sibipiruna	Caesalpinia pluviosa	12	coração-de-negro	Poecilanthe parviflora
2	mogno	Swietenia macrophylla	13	araucária	Araucaria angustifolia
3	ligustro japonês	Ligustrum ovalifolium	14	árvore-da-chuva	Samanea saman
4	ligustro japonês	Ligustrum ovalifolium	15	*	-
5	manacá-da-serra	Tibouchina mutabilis	16	*	-

6	pau-ferro	Libidibia ferrea	17	*	-
7	pau-formiga	Triplaris americana	18	*	-
8	mangueira	Mangifera indica	19	*	-
9	grevílea	Grevillea banksii	20	jacarandá-mimoso	Jacaranda mimosaefolia
10	jequitibá-rosa	Cariniana legalis	21	jacarandá-mimoso	Jacaranda mimosaefolia
11	aroeira-branca	Lithraea brasiliensis	22	sibipiruna	Caesalpinia pluviosa

\*espécies ainda não identificadas

Etapa 4: Avaliação das imagens utilizando matriz de confusão. Nesta etapa as imagens geradas pela tomografia e pela fotografia do disco foram preparadas utilizando duas fases, ambas utilizando o software ImageJ. Primeiramente as duas imagens devem ficar com a mesma dimensão e, em seguida, ter as zonas correspondentes a cavidade e cavidade adicionada à biodeterioração separadas por meio de processo de segmentação. Após a preparação, as imagens (tomografia x fotografia) foram comparadas utilizando a matriz de confusão binária proposta por Strobel et al, 2018 (Figura 3), cujos resultados foram utilizados para o cálculo da acurácia.

Etapa 5: Avaliação da necessidade de adequação das faixas de velocidade. Nesta etapa a acurácia da imagem tomográfica na inferência da condição real do disco foi avaliada para cada espécie. Se a acurácia foi igual ou superior à obtida para a espécie Sibipiruna (Palma et al, 2022) se concluiu que a faixa de velocidade foi adequada para a espécie avaliada. Quando a acurácia foi inferior, novas imagens foram geradas com adaptações nas faixas e novo cálculo de acurácia, até que se obtivessem as faixas mais adequadas para a espécie em análise. O número de espécies utilizados na pesquisa foi adotado em função da disponibilidade de árvores com autorização de supressão pelo Departamento de Meio Ambiente da Unicamp.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Atualmente o projeto se encontra em estágio final da análise de dados obtidos a partir da tomografia ultrassônica, com as imagens geradas utilizando dados coletados e filtradas para comparação com as fotos reais de cada espécie arbórea. Somente após o término dessas análises será possível concluir, por meio da acurácia, quais faixas são as mais adequadas.

## CONCLUSÕES:

A metodologia de avaliação interna do fuste de árvores é importante, pois permite verificar a ocorrência de defeitos como biodeterioração e cavidades. As deteriorações em troncos de árvores, em geral provocadas pelo ataque de fungos, cupins e insetos xilófagos são progressivas com o tempo,

tornando sua detecção muito importante para tomadas de decisões adequadas no que diz respeito ao manejo de árvores urbanas, minimizando os riscos de acidentes de grandes proporções pela queda desses exemplares arbóreos, que são indispensáveis ao meio, ao mesmo tempo que trazem riscos inerentes a sua natureza. Porém, como esta pesquisa ainda está em andamento, as conclusões dependem das análises finais dos resultados.

## **BIBLIOGRAFIA:**

L. Espinosa, F. Prieto, L. Brancheriau e P. Lasaygues, "Imagem ultrassônica de árvores em pé: fatores que influenciam a detecção de decomposição", 2019 XXII Simpósio Fotografia da face do disco Modelo da cavidade obtido da fotografia Imagem tomográfica ROI (modelo da zona inferida como cavidade) Pontos internos (delimitação do campo da imagem) de Imagem, Processamento de Sinais e Visão Artificial (STSIVA), Bucaramanga, Colômbia, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/STSIVA.2019.8730215.

Linhares, C. S., Gonçalves, R., Martins, L. M., & Knapic, S. (2021). Structural stability of urban trees using visual and instrumental techniques: A review. *Forests*, 12(12), 1752. <https://doi.org/10.3390/f12121752>

Palma, S. S. A.; Gonçalves, R. Tomographic images of the trunks generated using ultrasound and post-processed images: Influence of the number of measurement points. *BioResources* **2022**, 17(4), 6638-6655.

Palma, S.S.A.; Dos Reis, M.N. Gonçalves, R. Tomographic images generated from measurements in standing trees using ultrasound and post processed images: methodological proposals for cutting velocity, interpolation algorithm and confusion matrix metrics focusing on image quality. *Forests* 2022, 13, 1935.

Palma, S.S.A. (2017). Reconhecimento de padrões em imagens geradas por ultrassom. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

Palma, S.S.A.; Gonçalves, R.; Trinca, A.J.; Costa, C.P.; Reis, M.N.; Martins, G. (2018) Interference from knots, wave propagation direction and effect of juvenile and reaction wood on velocities in ultrasound tomography. *BioResources* 13: 2834-2845