

# Método de Interpolação Baseado em Elipses Associado à Análise Contextual de Rotas Para Geração de Tomografias Ultrassônicas em Toras de Madeira

Jorge Renato A. Strobel, Paulo S. Martins Pedro e Marco Antonio G. de Carvalho  
IMAGELAB - Computing Vision Laboratory  
Faculdade de Tecnologia  
Universidade Estadual de Campinas  
Limeira/SP - Brasil, 13484-332  
Email: strobel@unicamp.br, {pmartins,magic}@ft.unicamp.br

**Resumo**—Quality assessment and defect detection on wood of standing trees is one of the major task of forestry. Evaluation techniques that damage the structure of the inspected object were superseded by acoustic nondestructive methods. Particularly, ultrasonic techniques have been widely adopted for nondestructive testing of standing trees. It was verified that the presence of hollows or other types of deterioration cause velocity variation in the ultrasonic wave propagation. By measuring the acoustic velocities in distinct directions in the wood, it is possible to compute this data in spatial interpolation algorithms capable to reconstruct the internal characteristics of the wood object in tomographic images that enable the detection of some degradation in the interior of the tree. This research<sup>1</sup> aims to study spatial interpolation techniques from two distinct approaches: (i) the strategy that uses initial data points; and (ii) the one that uses directly the measured path velocities. Therefore, the main goal of this dissertation is to propose a new interpolation technique, which is based on the second strategy cited above, that performs a contextual analysis in the wave propagation paths in the cross-sectional area of wood considering the regions near to the bark and to the pith in a distinct way for velocity calculation. Additionally, a quantitative image analysis method is proposed which calculates metrics acquired from a confusion matrix. This method is presented as an alternative approach to the traditional visual comparison used to tomographic images evaluation. This work shows a comparative analysis with the tomography results acquired from the proposed method and from other techniques presented in the literature, highlighting important improvements in the performance.

## I. INTRODUÇÃO

Defeitos internos em toras de madeira podem impactar bastante a qualidade de produtos provenientes da madeira diminuindo a usabilidade do produto ou, até mesmo, reduzindo seu valor comercial. Consequentemente, a análise de árvores, seja qualitativa e quantitativa, constitui tarefa fundamental no campo de avaliação florestal.

A avaliação não destrutiva das propriedades físicas da madeira como mtodos de inspeção tem sua origem na necessidade

de resolver problemas práticos sem a destruição da integridade do objeto inspecionado [1]. No entanto, associado a essas técnicas acústicas, faz-se necessário o uso de ferramentas computacionais que possibilitem a reconstrução das características internas da madeira em imagens tomográficas, melhorando performace e acurácia [2], [3], [4].

Palma [5], em seu recente trabalho, relata a existência de um padrão de interferência nas imagens em forma de setas, ilustrado na Figura 1. Essas interferências podem confundir o avaliador pelo fato delas sinalizarem a existência de defeito interno em áreas que, de fato, constituem madeira sã. Também encontramos na literatura relatos de outros métodos que necessitam de melhoria para identificar defeitos na região próxima à casca, por exemplo, como é o caso do tomógrafo comercial *Picus Sonic* [6].

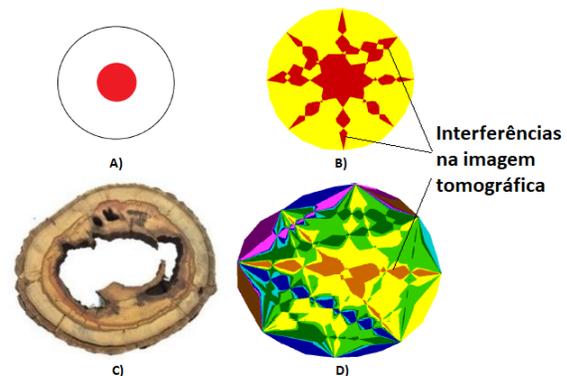


Figura 1. Interferências em forma de setas nas tomografias geradas por algoritmo de interpolação. A),B) Imagem simulando defeito central e sua tomografia correspondente. C),D) Imagem real de tora com defeito central e sua tomografia correspondente. Fonte: Adaptado de [5]

Tendo em vista o papel fundamental das ferramentas computacionais nas pesquisas sobre avaliação não destrutiva em toras de madeira e a necessidade de melhoria contínua nos métodos, o objetivo deste trabalho constitui na elaboração de

<sup>1</sup>Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Tecnologia - UNICAMP

uma técnica de interpolação espacial que, através de dados obtidos por meio de ensaios de ultrassom, gere imagens robustas de tomografia em madeira que permitam a detecção e localização de ocos e outros defeitos na estrutura interna do objeto inspecionado. De forma secundária, pretende-se desenvolver uma técnica de análise quantitativa das imagens tomográficas que permita sua avaliação por meio de métricas indo além do método tradicional de comparação visual.

Este artigo está organizado da seguinte forma. A seção II apresenta conceitos fundamentais e trabalhos relacionados; na seção III descrevemos a abordagem proposta; experimentos e resultados são apresentados na seção IV; e, finalmente, as conclusões e sugestões de trabalhos futuros são dadas na seção V.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

A interpolação tem o objetivo de criar um novo conjunto de dados a partir de um conjunto limitado de dados pontuais conhecidos. Em geral, encontramos duas estratégias distintas para realização da interpolação espacial: uma delas é a que se utiliza de pontos iniciais como dados de entrada para a estimação de valores desconhecidos e a segunda é por utilização direta dos valores das rotas de velocidades.

### A. Interpolação Por Meio de Pontos Iniciais

O uso de pontos iniciais como dados de entrada para a interpolação tem sido bastante explorado nas pesquisas de métodos não destrutivos [4], [7]. Secco [4], por exemplo, fez um estudo do uso de métodos interpolativos na geração de imagens de tomografia ultrassônica. Foram utilizadas duas malhas de medição para a execução dos ensaios de ultrassom: a malha retilínea e a malha de difração.

Na malha retilínea os pontos iniciais que foram utilizados como dados de entrada são os pontos de interseção entre os eixos  $x$  e  $y$ . Para cada eixo  $x$  e  $y$ , foi calculada uma velocidade de propagação e para cada ponto de interseção é calculada a média entre as velocidades dos eixos (Figura 2(A)).

No caso da malha de difração, os pontos de entrada são pontos equidistantes definidos em cada rota de medição (Figura 2(B)). O valor de cada ponto é o valor da própria rota de medição. De posse dessas amostras, é possível a aplicação de métodos de interpolação conhecidos como o IQD (Inverso do Quadrado da Distância), baseado na função de interpolação definida em [8], e a *Krigagem*, método geoestatístico detalhado em [9].

Feng *et al.* propuseram um algoritmo de reconstrução de imagens usando método de interpolação semelhante à *Krigagem* [7]. Foi adotada uma malha de difração com 8 pontos de medição. Para cada um dos pontos de interseção das rotas foi atribuído o valor médio das rotas. Já Du *et al.* ressaltam que os métodos de interpolação que se utilizam da estratégia de pontos iniciais como dados de entrada, apresentam resultados não satisfatórios [10]. Isso ocorre por que no contexto da avaliação acústica em toras de madeira, os verdadeiros dados de entrada são os dados TOF (*Time of Flight*) fornecidos para cada rota de medição e não os pontos iniciais estimados previamente.

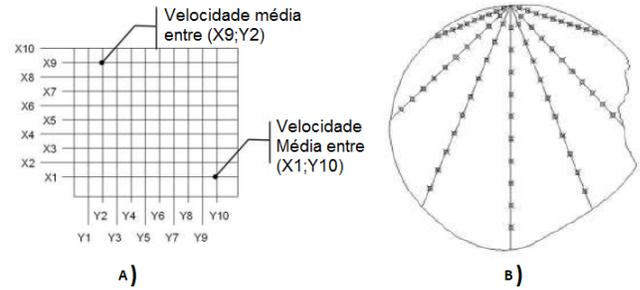


Figura 2. A) Pontos de velocidade média dentro da malha retilínea. B) Pontos equidistantes nas rotas da malha de difração. Fonte: [4].

### B. Interpolação Por Utilização Direta dos Valores de Rotas

Uma estratégia de interpolação que vem sendo mais explorada é o uso direto das velocidades de rotas calculadas nos ensaios de ultrassom. Para tanto, têm-se utilizado o conceito de zonas afetadas (*affected zones*), onde, para cada rota de medição, associa-se uma zona em forma elíptica. Este conceito foi primeiramente usado em [11] e posteriormente explorado em [10], onde um novo método de interpolação baseado em elipses (*Ellipse Based Spatial Interpolation*) foi apresentado.

1) *Zonas Afetadas*: Neste método, a região crítica indicada pelas variações de sinais foi determinada através da associação de zonas afetadas elípticas em torno de cada par de sensores que definiam uma rota de medição [11]. A Figura 3 ilustra as zonas afetadas associadas a diferentes rotas de medição de sinal.

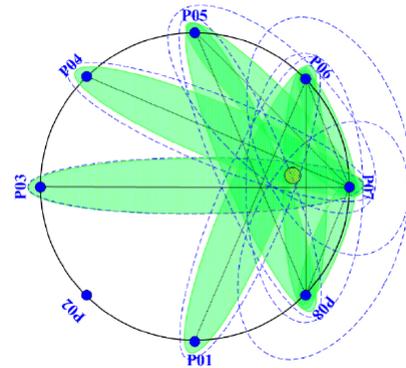


Figura 3. Zonas afetadas em forma elíptica. Fonte: [11].

Zeng *et al.* usavam elipses de mesma excentricidade [11]. Contudo, isso pode gerar bom resultado na parte central, mas não ser tão eficiente no caso do defeito estar próximo ao ponto de medição [10]. Isto é compreensível, pois as rotas de menor comprimento, definidas por pontos de medição adjacentes teriam pouca influência em um defeito próximo ao ponto de medição se lhes fosse associadas elipses de mesma excentricidade das demais.

Por esta causa, o novo método de interpolação espacial proposto em [10] adota elipses com excentricidades diferentes

baseando-se no comprimento das rotas.

2) *Compensação de Velocidades*: Devido ao aspecto da anisotropia na madeira, é importante aplicar uma compensação de velocidades com o objetivo de equalizar as velocidades tangenciais na seção transversal da madeira [10]. Isso é efetuado antes que se execute o processo de interpolação de forma que se tenha dados de entrada mais acurados.

A equação 1 apresenta a forma como é calculada a nova velocidade tangencial que se pretende obter:

$$V'_T = V_T / (-0,2\theta^2 + 1) \quad (1)$$

Onde  $V'_T$  é a nova velocidade tangencial. Desta forma, apenas o ângulo de propagação ( $\theta$ ) é necessário para compensar as velocidades. Para calcular o ângulo de propagação, considera-se um modelo teórico cilíndrico para representar a tora de madeira.

### III. METODOLOGIA PROPOSTA

A análise contextual proposta neste trabalho procura enfatizar as rotas mais representativas na interpolação das velocidades e, assim, obter uma imagem de tomografia mais condizente com o interior da tora. A abordagem é dividida em quatro etapas, a saber:

- A. Considerações Iniciais para a Análise Contextual;
- B. Analisando o Contexto Próximo à Casca;
- C. Analisando o Contexto Central da Tora;
- D. Suavizando a Imagem na Região Próxima à Casca.

#### A. Considerações Iniciais para a Análise Contextual

Primeiramente são definidos quatro tipos de rotas de medição para uma malha de difração com oito pontos de medição de acordo com trabalho de [12] e conforme ilustra a Figura 4.

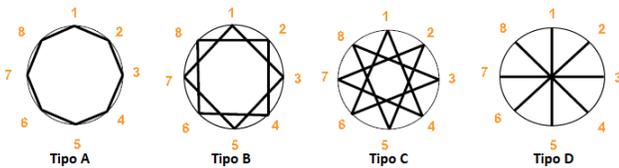


Figura 4. Os quatro tipos de rotas encontrados numa malha de difração de oito pontos. Fonte: Adaptado de [12]

Assim, é possível generalizar este conceito dos tipos de rotas, usado em [12], enumerando as rotas para uma configuração de  $N$  pontos conforme a equação 2:

$$t_{ij} = \begin{cases} |j - i|; & |j - i| < (N/2) \\ N - |j - i|; & |j - i| > (N/2) \\ N/2; & |j - i| = (N/2) \end{cases} \quad (2)$$

Onde:  $i \in [1, N]$  é o número de um ponto de medição inicial,  $j \in [1, N]$  o número de um ponto de medição final e  $t_{ij}$  representa o valor do tipo da rota definida pelos pontos  $ij$ .

Um outro conceito importante é o de faixas de velocidades. Para cada tora específica, calculam-se as velocidades de propagação nos diferentes percursos de rota. Em seguida,

dividi-se essas velocidades em faixas baseando-se na média e no desvio padrão, montando-se um gráfico para cada tora conforme ilustra a Figura 5.

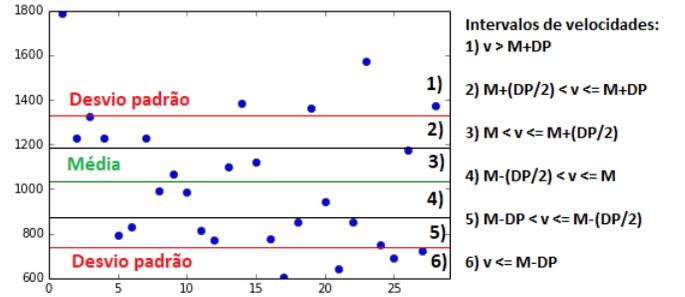


Figura 5. Representação das seis faixas de velocidades de propagação. Os pontos em azul representam as velocidades distintas em cada rota de medição. A linha esverdeada é a média ( $M$ ) das velocidades e as linhas avermelhadas representam os valores  $M \pm DP$ , onde  $DP$  é o desvio padrão.

Um bom indicador de deterioração na madeira é no caso da velocidade de propagação em uma região for reduzida em 50% da velocidade máxima encontrada na tora [13]. Portanto, criamos três intervalos abaixo da média com um intervalo de valores logo acima deste parâmetro (faixa 5 na Figura 5) e outro logo abaixo (faixa 6 na Figura 5). Da mesma forma, criamos três intervalos acima da média, sendo o intervalo 1 na Figura 5 acima do desvio padrão ( $M + DP$ ) o delimitador para todos os picos de velocidades.

Uma definição importante que introduzimos aqui é o conceito de rota crítica (RC), que se refere às rotas que estão nas faixas cinco ou seis indicadas na Figura 5, ou seja, as rotas com maior indicativo de deterioração na madeira.

#### B. Analisando o Contexto Próximo à Casca

Tomografias que usando dados TOF em geral possuem uma qualidade inferior nas regiões próximas aos pontos de medição, isto é, próximas à casca [6]. Analiticamente o intervalo de todos os tipos de rotas no contexto da casca ser dado por:

$$\beta = \begin{cases} 1 \leq t_{ij} \leq \frac{N}{4}; & \frac{N}{2} \bmod 2 = 0 \\ 1 \leq t_{ij} \leq \lfloor \frac{N}{4} \rfloor; & \frac{N}{2} \bmod 2 > 0 \end{cases} \quad (3)$$

Onde:  $\beta$  é o intervalo dos tipos de rotas do contexto de casca,  $N$  o número de pontos de medição ( $N \geq 4$ ),  $t_{ij}$  representa todos os possíveis tipos de rota segundo à equação 2 e  $\lfloor \frac{N}{4} \rfloor$  a função piso (*floor*) para  $\frac{N}{4}$ .

Considera-se ainda que as rotas no contexto de casca que melhor representam um defeito próximo à casca são aquelas cujos seus centros estão mais próximos a esta região (Figura 6).

Sendo assim, se existe uma RC em  $S$ , sendo  $S$  o o conjunto das rotas selecionadas pela aproximação de seus centros, então a velocidade interpolada no ponto  $P$  será dada de acordo com a equação 4:

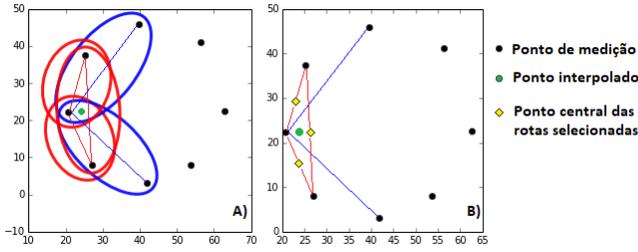


Figura 6. A) Representação das zonas afetadas de rotas do contexto de casca que estão afetando o ponto a ser estimado; B) Rotas selecionadas (em vermelho) como as mais representativas do ponto interpolado por terem os seus centros mais próximos ao ponto. As rotas em azul como possíveis rotas para descartar.

$$v_{xy} = \sum_{k=1}^m w_k \times v_k; k \notin (NS \cap NC) \quad (4)$$

Onde,  $v_{xy}$  é o valor estimado da velocidade em  $P$ ,  $v_k$  é o valor de velocidade de uma das rotas  $k$  que afetam o ponto  $P$ ,  $w_k$  corresponde ao peso atribuído a rota  $k$  e  $m$  é a diferença entre o valor total de rotas que afetam o ponto  $P$  e o total de rotas descartadas.  $NS$  representa as possíveis rotas para descarte e que não são críticas e  $NC$  o conjunto com todas as rotas não críticas.

### C. Analisando o Contexto Central da Tora

No contexto de casca e usando uma configuração de oito pontos, verifica-se que as zonas elípticas, associadas às rotas de tipo B, exercem bastante influência na interpolação de uma área substancial do contexto central da tora devido à excentricidade que é atribuída a essas elipses. A Figura 7 ilustra a influência dessas zonas afetadas no contexto central.

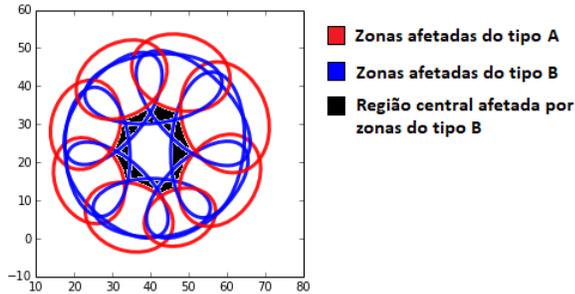


Figura 7. Influência de zonas afetadas do tipo B numa configuração de oito pontos no contexto central.

Em [10], as velocidades das rotas de menor comprimento recebem maior peso. Isto significa que a região escura do contexto central da tora indicada na Figura 7 está sendo mais influenciada na interpolação por rotas que representam mais o contexto próximo à casca do que por rotas que representam o contexto central (tipo C e D). Este fato pode diminuir bastante a representatividade da imagem de tomografia na ocorrência de um defeito central. Deste modo, propõe-se uma mudança no cálculo da média das velocidades para o contexto central.

Baseando-se na equação 2, temos que o conjunto dos possíveis tipos de rotas para uma configuração de  $N$  pontos pode ser representado por  $U = \{t \in Z | 1 \leq t \leq \frac{N}{2}\}$ . Seja  $T$  o conjunto de todos os tipos de rotas que afetam um determinado ponto  $P$ , tal que  $T \subset U$ . Sendo assim, a nova velocidade interpolada em  $P$  segue a seguinte equação:

$$v_{xy} = \begin{cases} \sum_{k=1}^m w_k \times v_k; & \min T < \gamma \\ (\sum_{k=1}^m v_k) / m; & \min T \geq \gamma \end{cases} \quad (5)$$

Onde,  $v_{xy}$  é a velocidade calculada em  $P$ ,  $\min T$  é o valor mínimo de tipos de rotas que afetam o ponto  $P$  por meio de suas zonas afetadas elípticas e  $\gamma$  o valor mínimo para estabelecer o início da região central.

Propõe-se também o acréscimo do valor da excentricidade ( $c$ ) das zonas afetadas das rotas radiais no contexto central. Verificamos em nossos testes que o valor  $c = 0,2$  proporcionou uma melhor aproximação das áreas das elipses no contexto central do que o valor  $c = 0,1$  proposto em [10].

### D. Suavizando a Imagem na Região Próxima à Casca

O propósito desta etapa é tornar a imagem de tomografia mais homogênea no seu contexto próximo à casca, sem superestimar a possível área defeituosa da madeira. Portanto, para este cenário, deve-se fazer o descarte das rotas críticas no cálculo do valor interpolado em um ponto  $P$ , que passa a ser dado pela equação 6:

$$v_{xy} = \sum_{k=1}^m w_k \times v_k; k \notin R_c \quad (6)$$

Onde  $k$  representa uma das rotas que afetam o ponto  $P$  e  $R_c$  o conjunto das rotas radiais críticas que afetam  $P$ ,

## IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção apresentamos os resultados de imagens de tomografia obtidos, juntamente com uma breve discussão e análise comparativa tanto do ponto de vista visual como quantitativo. Foram utilizados os dados TOF provenientes dos ensaios de ultrassom realizados no LabEND (Laboratório de Ensaios Não Destrutivos da FEAGRI/UNICAMP). O equipamento utilizado para a geração das imagens de tomografia foi um ultrassom USLab (Agricief, Brasil) com  $45kHz$  de frequência e transdutores exponenciais. Nos ensaios foram utilizados 8 pontos de medição em uma malha de difração fornecendo um total de 28 rotas de velocidades. A região de interpolação no plano cartesiano foi discretizada em pontos cujas coordenadas são múltiplos de  $0,5cm$ . Para a geração das imagens de tomografia, adotamos um mapa de 3 cores seguindo o exemplo do mapeamento de cores adotado em [10].

As técnicas de interpolação usadas na geração das imagens de tomografia são elencadas a seguir:

- 1)  $T1$ : Utiliza algoritmo de interpolação IQD;
- 2)  $T2$ : Interpolação baseada em elipses proposta por [10] e com o uso de compensação de velocidades;
- 3)  $T3$ : Técnica proposta neste trabalho - análise contextual de rotas.

Para a análise quantitativa obtivemos para cada uma das espécies a localização das partes de madeira com um alto grau de deterioração (imagens modelo ou *Ground Truth*). Para a geração da ROI (*Region of Interest*) em cada tora, utilizamos a técnica de *Thresholding*, observando o intervalo entre as velocidades mínima e máxima na definição do limiar.

A seguir apresentamos 2 resultados da aplicação da análise contextual. Outros resultados e experimentos podem ser vistos em [14].

#### A. Exemplo de Tora com Deterioração Próxima à Casca

Como primeiro exemplo, temos um disco da espécie *Lonchocarpus* contendo dois ocos artificiais circulares próximos à casca, cada um com diâmetro de 5cm (Figura 8).



Figura 8. Espécie *Lonchocarpus* com ocos artificiais circulares.

Na Figura 9(A)(B)(C) temos as tomografias geradas por *T1*, *T2* e *T3* e suas respectivas ROIs (Figura 9(D)(E)(F)). A Tabela I apresenta uma análise quantitativa dos resultados da interpolação e segmentação para esta primeira tora.

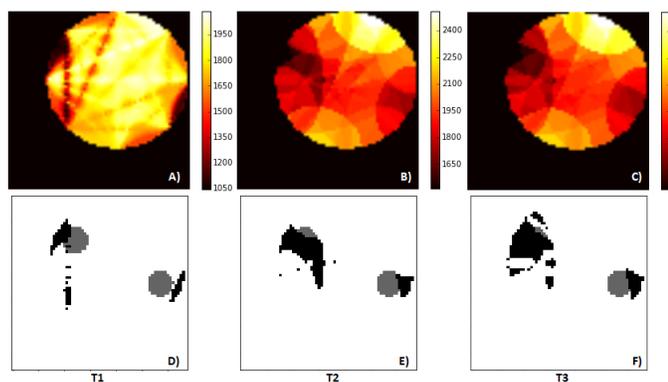


Figura 9. Imagens geradas do disco da espécie *Lonchocarpus*. (A),(B),(C) Tomografias geradas pelas técnicas *T1*, *T2* e *T3*, respectivamente. (D),(E),(F) ROIs (em preto) sobrepondo a imagem modelo (em cinza).

A técnica *T3* obteve uma tomografia que evidencia um pouco mais a localização dos ocos e uma ROI que seleciona ainda mais *pixels* da imagem modelo. Por isso, a técnica *T3* apresenta o melhor valor de Revocação dentre as três.

#### B. Exemplo de Toras com Deterioração na Região Central (Medula)

Neste próximo exemplo, temos uma tora da espécie *Platanus sp.* com a maior parte de sua região central

Tabela I  
ANÁLISE QUANTITATIVA DAS TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO *T1*, *T2* E *T3*  
PARA A ESPÉCIE *Lonchocarpus*

Técnica	Acurácia ( <i>A</i> )	Precisão ( <i>P1</i> )	Revocação ( <i>R1</i> )
<i>T1</i>	89,039	12,621	8,228
<i>T2</i>	88,573	30,667	43,671
<i>T3</i>	87,687	30,075	50,633



Figura 10. Espécie *Platanus sp.* com a maior parte de sua região central comprometida.

comprometida por ataque de fungos e contendo alguns ocos ocasionados por cupins (Figura 10).

A Figura 11 mostra as imagens de tomografia geradas. Verificamos de forma mais nítida na tomografia via *T1* as interferências em forma de setas reportadas na Seção I. A tomografia de *T1* mostra uma imagem realmente comprometida por um dano, mas sem definir ao certo o posicionamento da deterioração. Por outro lado, a tomografia via *T2* mostra que há algum dano na região central de forma melhor definida e localizada. Por fim, a tomografia via *T3* apresenta seu centro mais escuro dando mais ênfase ao ataque que comprometeu praticamente toda a parte da medula. Além disso, *T3* traz uma suavização na parte mais próxima à casca.

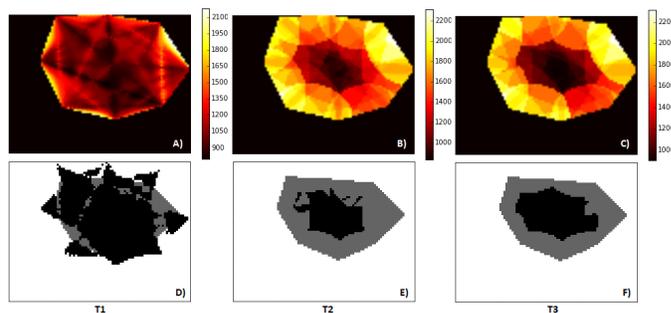


Figura 11. Imagens geradas da espécie *Platanus sp.* (A),(B),(C) Tomografias geradas por *T1*, *T2* e *T3*, respectivamente. (D),(E),(F) ROIs (em preto) sobrepondo a imagem modelo (em cinza).

Na Tabela II apresentamos a análise quantitativa deste experimento. Observe que *T1* teve uma redução na Precisão por estimar vários pontos com velocidades baixas em regiões próximas à casca. Já a Revocação de *T1* se apresentou melhor por ter selecionado grande parte da imagem modelo, mostrando que *T1* é tendente a superestimar defeitos centrais. Já *T2* e *T3* obtiveram um valor de Revocação mais moderado do que a técnica *T1* apontando que as duas técnicas dão maior foco à região mais afetada da parte central da tora sem

superestimar o defeito. Finalmente, T3 e sua análise contextual apresenta Revocação mais expressiva dando maior evidência ao defeito central (Figura 11(C)(F)).

Tabela II  
ANÁLISE QUANTITATIVA DAS TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO T1, T2 E T3  
PARA A ESPÉCIE *Platanus sp.*

Técnica	Acurácia (A)	Precisão (P1)	Revocação (R1)
T1	74,811	78,308	82,685
T2	55,251	100,0	28,548
T3	61,736	100,0	38,904

## V. CONCLUSÕES

Este trabalho discutiu a importância da melhoria contínua nos algoritmos responsáveis pela reconstrução da estrutura interna da madeira em imagens tomográficas. Foi proposto um algoritmo baseado no cálculo de pontos interpolados afetados por regiões elípticas acrescido de uma análise contextual das rotas. Essa análise permitiu calcular os valores dos pontos a serem interpolados de acordo com sua localização na madeira, ou seja, próximo a casca ou na região central, tratando também os casos *outliers* de forma a suavizar a tomografia gerada.

A eficiência do algoritmo proposto foi comparada com a de outras técnicas presentes na literatura, visual e quantitativamente. A seguir, elencamos nossas principais conclusões sobre as técnicas usadas e seus resultados correspondentes:

- A análise contextual mostrou-se eficiente em ampliar a região do defeito próxima à casca dando maior representatividade à sua imagem tomográfica.
- A análise contextual mostrou-se bastante eficiente no contexto central em dar maior representatividade à região deteriorada, sendo mais coerente com a real situação interna da tora de madeira;
- Do ponto de vista quantitativo, o algoritmo proposto ganha em precisão; é possível também verificar melhoria no valor da revocação no contexto central, comparado a sua não utilização;

Verificamos que, pelos resultados obtidos e pelas conclusões listadas previamente, o algoritmo de interpolação baseado em regiões elípticas combinado à análise contextual proposta neste trabalho se mostrou eficiente em melhorar a representatividade das imagens tomográficas quanto à real condição interna das toras de madeira.

Por outro lado, a análise quantitativa proposta em nosso trabalho também se mostrou eficiente como método de análise complementar à comparação visual tradicionalmente aplicada. Através das métricas obtidas da análise quantitativa, foi possível identificar melhor como cada técnica se comporta na detecção e localização do defeito.

Finalmente, gostaríamos de ressaltar as publicações decorrentes deste trabalho de mestrado:

- (*publicado*) STROBEL, J. R. A.; CARVALHO, M. A. G.; GONALVES, R.; BERTOLDO, C.; REIS, M. N.; MARTINS, P. S. Quantitative image analysis of acoustic

tomography in woods, *European Journal of Wood and Wood Products*. DOI: 10.1007/s00107-018-1323-y, 2018.

- (*publicado*) P. JUNIOR, A. A.; STROBEL, J. R. A.; CARVALHO, M. A. G. Um estudo comparativo de técnicas de interpolação espacial de dados para geração de imagens do interior de toras de madeira, *SODEBRAS*, vol. 13, no. 152, pp. 70-74, 2018.
- (*submetido*) STROBEL, J. R. A.; CARVALHO, M. A. G.; GONALVES, R.; BERTOLDO, C.; REIS, M. N.; MARTINS, P. S. Path Contextual Analysis Applied to Ellipse Based Interpolation Technique for Generation of Tomography in Woods.

A dissertação a que este artigo se refere foi defendida em dezembro de 2017 e está disponível em [14].

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio das Profas. Raquel Gonçalves e Cynthia Bertoldo, além das pós-graduandas Mariana Nagle e Stella Stopa, todos membros do LabEND - FEAGRI/UNICAMP.

## REFERÊNCIAS

- [1] V. Bucur, "Ultrasonic techniques for nondestructive testing of standing trees," *Ultrasonics*, vol. 43, no. 4, pp. 237-239, 2005.
- [2] —, *Nondestructive characterization and imaging of wood*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [3] F. Divos and P. Divós, "Resolution of stress wave based acoustic tomography," in *14th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Hannover, Germany*, 2005, pp. 309-314.
- [4] C. B. Secco, "Detecção de ocos em toras utilizando métodos de propagação de ondas ultrassônicas," Master's thesis, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2011, disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/256876>.
- [5] S. S. Palma, "Reconhecimento de padrões em imagens geradas por ultrassom," Master's thesis, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2017, disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/330595>.
- [6] E. A. Gilbert and E. T. Smiley, "Picus sonic tomography for the quantification of decay in white oak (*quercus alba*) and hickory (*carya spp.*)," *Journal of Arboriculture*, vol. 30, no. 5, pp. 277-281, 2004.
- [7] H. Feng, G. Li, S. Fu, and X. Wang, "Tomographic image reconstruction using an interpolation method for tree decay detection," *BioResources*, vol. 9, no. 2, pp. 3248-3263, 2014.
- [8] D. Shepard, "A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data," in *Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference*. ACM, 1968, pp. 517-524.
- [9] E. Isaaks and R. Srivastava, "Applied geostatistics: Oxford university press," *New York*, p. 561, 1989.
- [10] X. Du, S. Li, G. Li, H. Feng, and S. Chen, "Stress wave tomography of wood internal defects using ellipse-based spatial interpolation and velocity compensation," *BioResources*, vol. 10, no. 3, pp. 3948-3962, 2015.
- [11] L. Zeng, J. Lin, J. Hua, and W. Shi, "Interference resisting design for guided wave tomography," *Smart Materials and Structures*, vol. 22, no. 5, pp. 1-12, 2013.
- [12] C. Lin, Y. Kao, T. Lin, M. Tsai, S. Wang, L. Lin, Y. Wang, and M. Chan, "Application of an ultrasonic tomographic technique for detecting defects in standing trees," *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 62, no. 4, pp. 434-441, 2008.
- [13] R. H. White and R. J. Ross, "Wood and timber condition assessment manual," *General technical report FPL; 234*, 2014.
- [14] J. R. A. Strobel, "Método de interpolação baseado em elipses associado à análise contextual de rotas para geração de tomografias ultrassônicas em toras de madeira," Master's thesis, Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, 2017, disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/330948>.