

# AVALIAÇÃO DE DANOS INTERNOS DA MAÇÃ ATRAVÉS DO USO DE TOMOGRAFIA ULTRASSÔNICA

**Palavras-Chave:** Técnicas não destrutivas, ultrassom, defeitos internos

**Autores/as:**

**Agatha Hiromi Ueno [FEAGRI/UNICAMP]**

**Cinthya Bertoldo Pedroso (coorientadora) [FEAGRI/UNICAMP]**

**Juliana Aparecida Fracarolli (orientadora) [FEAGRI/UNICAMP]**

**Stella Stopa Assis Palma (coorientadora) [FEAGRI/UNICAMP]**

## 1. Projeto

O projeto de pesquisa desenvolvido utiliza a técnica de tomografia ultrassônica na análise dos danos internos da maçã a partir de ensaios de propagação de onda.

Técnicas não destrutivas estão se destacando na área de tecnologia pós-colheita de produtos hortícolas por possibilitarem a aplicação em tempo real sem danificar a amostra.

A pesquisa realizada é capaz de explorar o uso da técnica não destrutiva de tomografia ultrassônica em maçãs para detecção de defeitos internos, além de se apresentar como uma técnica simples e barata. Desta forma, o projeto desenvolvido tem grande potencial para avaliar novas técnicas com foco principal de análises em pós colheita e atenção especial para a maçã, que vem se tornando uma cultura importante para o Brasil e recentemente este produto contribui para uma balança comercial positiva.

A onda gerada pelo pulso ultrassônico percorre o meio, a maçã, em um tempo que pode ser medido, para posterior cálculo de velocidade da onda. Além disso, são coletados dados experimentais e, com o uso de programas computacionais (softwares) e de técnica de interpolação, são geradas imagens com a finalidade de encontrar uma correlação entre a velocidade da onda propagada no meio e a presença de danos internos.

O processo de tomografia ultrassônica já se provou eficiente na visualização de características importantes em materiais de engenharia civil, mas tem grande potencial para poder ser explorado na área de pós-colheita de frutas, aprimorando esta técnica para este uso e melhorando o diagnóstico de qualidade para hortícolas.

Existem vários métodos de caracterização dos atributos e alguns são destrutivos, inutilizando o produto após a realização do teste, porém maior ênfase vem sendo dada recentemente para os métodos online e não destrutivos, que permitem a obtenção de imagem



tomográfica através de ensaios de ultrassom, para detectar a presença de defeitos internos na parte interna de maçãs, sem prejudicar a qualidade do produto e com menor custo possível.

Posteriormente este trabalho poderá ser estendido a outras culturas, aumentando o impacto na cadeia comercial.

## **2. Material e Métodos**

O projeto foi realizado seguindo 5 diferentes etapas: material utilizado na pesquisa, preparação das amostras para o ensaio, ensaios realizados, o processo de geração das imagens e matriz de confusão.

O material utilizado no desenvolvimento da pesquisa inclui 30 amostras de maçã (cv. Fuji) e dois furadores de diâmetros diferentes, sendo o menor com diâmetro de 7,58 mm e o maior com diâmetro de 23,21 mm. Além disso, utilizou-se um paquímetro digital para as medições de diâmetro, tábua, faca, régua e canetas permanentes de cor preta e azul para auxiliar nas marcações (8 pontos).

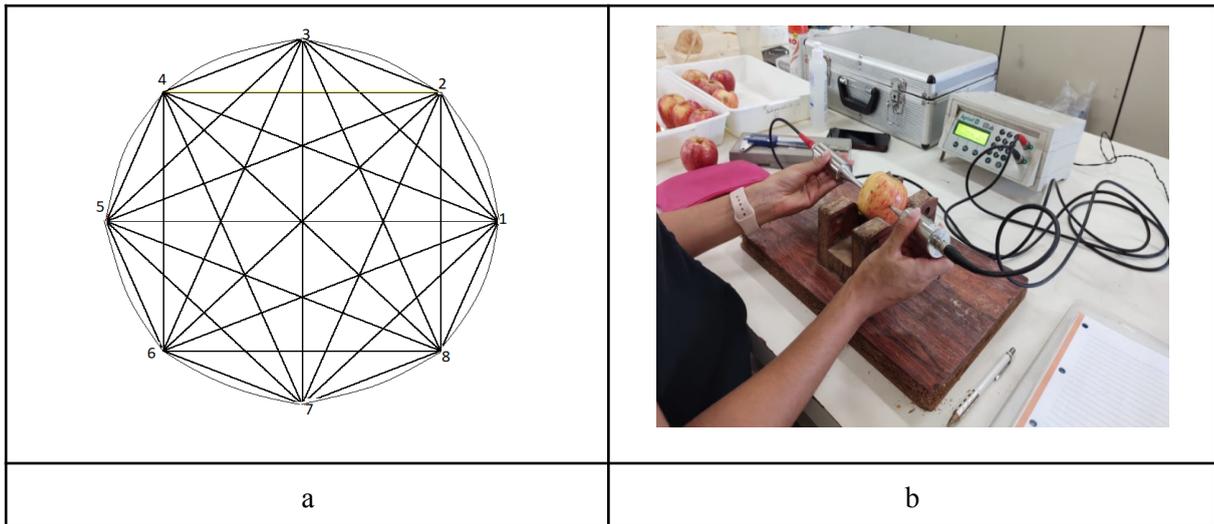
Para a execução do ensaio de propagação de onda foi utilizado um aparelho de ultrassom da marca USLab (Figura 1a), desenvolvido pela empresa AGRICEF® - Brasil - em parceria com o grupo de pesquisa do Laboratório de Ensaio não Destrutivos (LabEND) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Foram acoplados dois transdutores de ponta seca de 45 kHz de frequência ao equipamento de ultrassom.

A preparação das amostras consistiu na marcação de 8 pontos equidistantes ao longo do contorno de cada uma das maçãs, situado na altura média, sendo esses pontos numerados em sentido anti-horário para formar a malha de difração (Figura 1a), proposta com o objetivo de se obter maior varredura do material inspecionado (DIVOS e SZALAI, 2002), e a partir da distância diametral de um ponto a outro, foi possível obter o comprimento do percurso da onda propagada.

É importante ressaltar que os ensaios com equipamento de ultrassom foram realizados em 3 diferentes momentos: a maçã íntegra (sem furo), a maçã com um defeito simulado em formato de furo (menor diâmetro) em seu eixo central, na região carpelar; e a maçã com um aumento no diâmetro do furo, na mesma região central.

O ensaio consistiu em fixar um dos transdutores (transdutor emissor) em um dos oito pontos demarcados ao longo da circunferência da maçã enquanto o outro transdutor (receptor) captava o tempo de percurso da onda nos outros sete pontos e, assim sucessivamente, até que o transdutor emissor tenha passado pelos 8 pontos. (Figura 1b)

Desta forma, é possível obter a medida de tempo ( $t$ ) que a onda leva para se propagar em cada um dos percursos. A partir dos dados de tempo e o comprimento do percurso da onda propagada (distância entre os pares de pontos de cada rota), é possível calcular a velocidade de propagação da onda para cada uma das rotas.



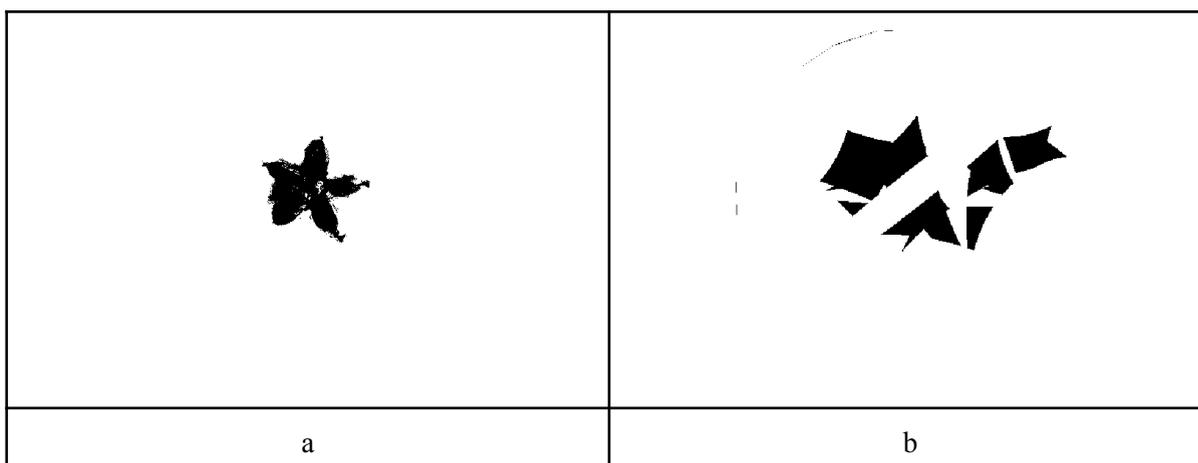
**Figura 1.** Marcação de 8 pontos no sentido anti-horário em cada amostra de maçã, apresentando as rotas/percurso das ondas de ultrassom (a); ensaio de ultrassom na maçã (b).

Para a geração das imagens foram utilizados dois softwares, o *ImageJ* para gerar os contornos das imagens e o *ImageWood VC*, que trata de um software em desenvolvimento pelo grupo de Pesquisa do LabEND (já citado), junto a um profissional da área, com o qual obtivemos as imagens resultantes da interpolação de valores de velocidade, a partir do interpolador “Método das elipses”.

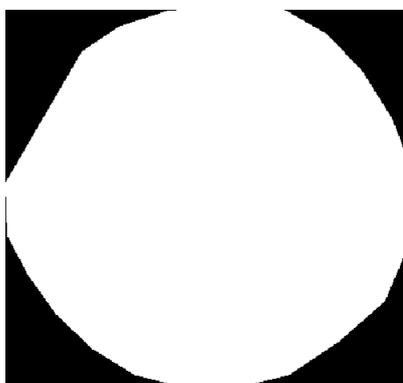
Com o auxílio de duas planilhas (tempo e contorno) obtidas por meio do software, foram geradas 30 imagens, por meio do programa *ImageWood VC*, com 2 diferentes faixas de velocidade para realizar a matriz de confusão.

### 3. Resultados e discussão

A matriz de confusão (Tabela 1) permite analisar se a imagem que ela gera é igual à do modelo. O “modelo” está na imagem real, e o “ROI” está na imagem gerada. “Internal points” é o campo (maçã) onde está sendo analisado, uma delimitação de campo para estudo, como mostra as figuras abaixo:



**Figura 2.** Região de semente da amostra 2 sem furo - modelo (a) Região de interesse da amostra 2 sem furo - ROI (b)



**Figura 3.** Internal points da amostra 2 sem furo.

Foram calculados o Desvio Padrão (Desv. Pad.) e o Coeficiente de Variação (Cv) de cada amostra, conforme mostra a tabela abaixo:

**Tabela 1.** Matriz de confusão das 30 amostras de maçã.

| SEM FURO          | ACURÁCIA | FURO 1            | ACURÁCIA | FURO 2            | ACURÁCIA |
|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|
| <b>Amostra 1</b>  | 54,902%  | <b>Amostra 1</b>  | 22,455%  | <b>Amostra 1</b>  | 40,679%  |
| <b>Amostra 2</b>  | 87,743%  | <b>Amostra 2</b>  | 89,282%  | <b>Amostra 2</b>  | 79,478%  |
| <b>Amostra 3</b>  | 79,293%  | <b>Amostra 3</b>  | 79,537%  | <b>Amostra 3</b>  | 89,324%  |
| <b>Amostra 4</b>  | 68,243%  | <b>Amostra 4</b>  | 81,274%  | <b>Amostra 4</b>  | 78,392%  |
| <b>Amostra 5</b>  | 48,356%  | <b>Amostra 5</b>  | 79,809%  | <b>Amostra 5</b>  | 82,394%  |
| <b>Amostra 6</b>  | 70,580%  | <b>Amostra 6</b>  | 20,392%  | <b>Amostra 6</b>  | 53,214%  |
| <b>Amostra 7</b>  | 74,248%  | <b>Amostra 7</b>  | 50,893%  | <b>Amostra 7</b>  | 79,293%  |
| <b>Amostra 8</b>  | 21,354%  | <b>Amostra 8</b>  | 48,928%  | <b>Amostra 8</b>  | 50,983%  |
| <b>Amostra 9</b>  | 9,916%   | <b>Amostra 9</b>  | 78,690%  | <b>Amostra 9</b>  | 60,932%  |
| <b>Amostra 10</b> | 54,454%  | <b>Amostra 10</b> | 48,974%  | <b>Amostra 10</b> | 24,383%  |
| <b>Média</b>      | 56,909%  |                   | 60,023%  |                   | 63,907%  |
| <b>Desv. Pad.</b> | 0,250    |                   | 0,253    |                   | 0,213    |
| <b>Cv</b>         | 43,924   |                   | 42,070   |                   | 33,270   |

Adicionalmente foi realizada uma análise da umidade (Tabela 2) de cada amostra de maçã, tal análise auxiliou nas conclusões a respeito dos danos internos presentes na polpa da maçã e possíveis alterações do produto a partir da simulação de defeito interno com os furadores.

Para a análise de umidade da fruta, cada uma das amostras foram coletadas ao final do ensaio de ultrassom, e secadas em uma estufa.

**Tabela 2.** Umidade de cada amostra da maçã, em %

| <b>Umidade média (%)</b> |      |
|--------------------------|------|
| <b>Amostra 1</b>         | 64,3 |
| <b>Amostra 2</b>         | 64,5 |
| <b>Amostra 3</b>         | 72,7 |
| <b>Amostra 4</b>         | 71,7 |
| <b>Amostra 5</b>         | 69,5 |
| <b>Amostra 6</b>         | 72,7 |
| <b>Amostra 7</b>         | 79,0 |
| <b>Amostra 8</b>         | 72,0 |
| <b>Amostra 9</b>         | 80,5 |
| <b>Amostra 10</b>        | 81,2 |

#### **4. Conclusões**

É possível obter o valor do tempo de propagação das ondas na maçã, porém não é possível gerar a imagem pois a amostra contém muita água, e a umidade é um fator que interfere na leitura. Além disso, é muito trabalhoso gerar imagem de cada maçã, portanto é mais aconselhável que se faça uma caracterização do material, sabendo que existe um valor esperado para quando a maçã é boa; e um valor esperado para quando a maçã é ruim.

Pode-se dizer que o teste realizado não foi sensível o suficiente para detectar a variação de velocidades, mas a frequência dos transdutores (45 kHz) é adequada para avaliar o material (maçãs). Acredita-se que o diâmetro do furo menor e de dimensão maior não tenham sido suficientes para gerar o defeito interno nas maçãs ensaiadas. O ideal seria realizar a caracterização do material.

#### **5. Referências Bibliográficas**

Divos, F.; Szalai, L. 2002. **Tree evaluation by acoustic tomography**. In: Proceedings of the 13th International symposium on nondestructive testing of wood, WI: Forest Products Society, August 19–21; Berkeley, CA, p. 251–256, 2002