



# AValiação de Danos Internos da Maçã Através do Uso de Tomografia Ultrassônica

Autores: Agatha H Ueno, Cinthya B Pedroso, Fernanda F A Pavarin, Juliana A Fracarolli, Stella S A Palma

## 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 danos na área 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 material utilizado no desenvolvimento da pesquisa inclui 20 amostras de maçã (cv. Fuji) e dois furadores de diâmetros diferentes, sendo o menor com diâmetro de 19,1 mm e o maior com diâmetro de 25,4 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 Ensaios não Destrutivos (LabEND) da



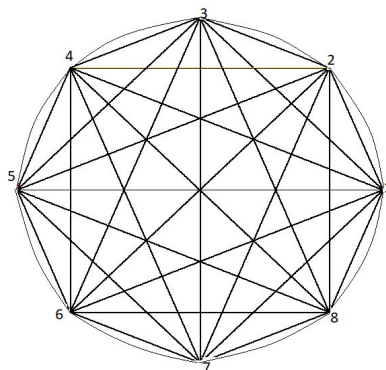
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Foram acoplados dois transdutores de ponta seca de 45 kHz de frequência ao equipamento de ultrassom.

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.



(a)



(b)

**Figura 1.** Malha de difração de 8 pontos (a); representação do ensaio de ultrassom realizado na maçã (b).

Para a geração das imagens foram utilizados dois softwares, o ImageJ para gerar os contornos das imagens e o ImageWood 3.1, 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 “Inverso do Quadrado das Distâncias” (IQD).

Com o auxílio de duas planilhas (tempo e contorno) obtidas por meio do software, foram geradas 60 imagens, por meio do programa ImageWood 3.1, com 10 diferentes faixas de velocidade, sendo cada uma representada por uma cor (vide Tabela de cores). Estas faixas



foram divididas considerando a velocidade máxima (100%), a velocidade da amostra. Deste modo, as 60 imagens diferentes se referem a 20 amostras de maçã e as três condições de ensaio.

De acordo com Palma (2017), os padrões de variação de velocidades que as imagens obtidas com 10 diferentes faixas de velocidade são representativas de descontinuidade no material. Sendo assim as faixas de velocidade encontradas nas imagens gerada pelo software, podem ser descritas de tal modo que, com uma velocidade baixa (0% a 40% da velocidade máxima), há presença de danos internos; para média velocidade (41% a 70%) é um pouco provável o aparecimento de danos; já para velocidades altas (71% a 100%), o material não apresenta danos internos.

A análise das imagens geradas foi realizada através de dois métodos diferentes: primeiro foi analisada de forma quantitativa, utilizando cálculo das velocidades da onda propagada pelo ensaio de ultrassom; em um segundo momento a análise foi qualitativa, ou seja, foi feita uma análise visual das faixas de velocidades (cores) das imagens geradas pelo software.

### 3. Resultados e discussão

As rotas de percurso (Figura 1a) foram avaliadas seguindo um padrão de trechos em que a onda de ultrassom se propaga e, para isso, utilizamos 3 divisões que correspondem aos pontos que percorrem a radial (rotas que passam pelo eixo central da fruta), a tangencial externa e a tangencial interna de cada maçã.

A tabela 1 apresenta os resultados de velocidades média e das análises estatísticas de comparação de médias realizadas a partir do software Sisvar com Anova para teste Tukey, com 5% de significância. Para as análises foi levado em consideração os tipos de tratamento das amostras, isto é, sem defeito simulado (maçã inteira); as maçãs com furo de diâmetros menor e maior, a fim de analisar as variações de velocidade provocadas pelo furo.

**Tabela 1** - Valores de velocidades radiais médias ( $m.s^{-1}$ ) e da comparação de média dos pontos para as 20 maçãs analisadas.

Tratamentos	Pontos radiais			
	1-5	2-6	3-7	4-8
Sem furo	86,48 (a)	83,71 (a)	76,76 (a)	79,57 (a)
	40%	37%	36%	40%
Com furo (19,13mm)	87,43 (a)	81,49 (a)	84,41 (a)	79,06 (a)
	29%	28%	30%	37%
Com furo (25,43 mm)	86,95 (a)	81,58 (a)	82,34(a)	79,99(a)
	32%	29%	30%	38%

\*Números se referem ao valor médio das velocidades, em m/s.

\*Letras se referem à comparação das médias da ANOVA, utilizando Teste de Tukey no Sisvar, com 5% de significância.

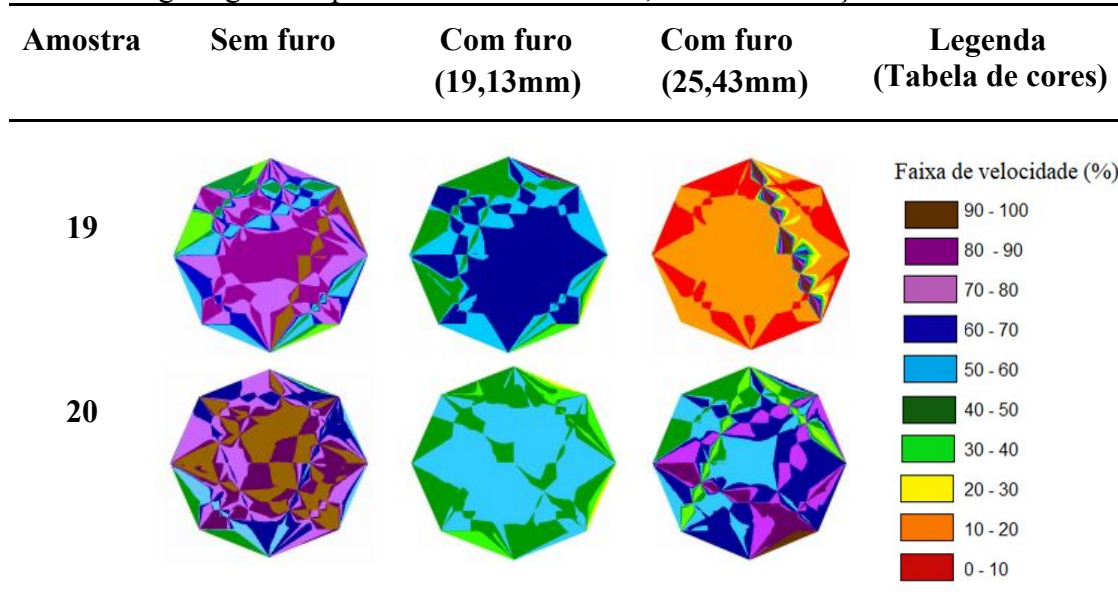
\*Valores expressos em porcentagem indicam o coeficiente de variação (CV) da média.



Como pode ser observado por meio da análise estatística de comparação de médias de velocidade para as diferentes rotas (radiais, tangenciais internas e externas) das 20 amostras de maçã, não se observou diferença de velocidades ocasionadas pela presença dos furos (letras “a” na Tabela 1). Nos demais pontos (tangenciais internas e externas) também não houve diferenciação de velocidades, permanecendo a letra “a” no teste Tukey do software.

Adicionalmente foi realizada uma análise visual em cada uma das 60 imagens geradas pelo software *ImageWood* 3.1, 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.

**Tabela 2** - Imagens geradas para as amostras 19 e 20, nas três condições de ensaio.



Tendo como base a amostra 19, pode-se dizer que há uma redução significativa no percentual de velocidade ao comparar a maçã sem furo e aquelas em que há a simulação de danos internos através de furo.

Observando as imagens da amostra 20 verifica-se uma possível redução das velocidades pois, ao fazer o furo de 19,13mm, há a predominância da cor azul e verde, indicando que a velocidade foi reduzida.

Ao notar cores vermelha, amarelo e/ou laranja nas imagens há indícios de baixa velocidade, ou seja, temos a presença de danos internos nas amostras. As cores verde claro, verde escuro, azul claro e/ou azul escuro demonstram média velocidade, em que há um provável aparecimento de danos. Já as cores lilás, roxo e/ou marrom significam velocidade alta (71% a 100% da velocidade máxima), ou seja, não há danos no material.

Na maioria das amostras não há uma real definição de que o furo é capaz de causar danos internos na maçã. Em alguns casos, há uma percepção visual e uma possível identificação do furo, como nas amostras 2, 5, 19 e 20, por exemplo. Mas apenas as imagens não geram conclusões plausíveis a respeito da técnica, pois a identificação depende de uma análise mais detalhada como a análise estatística.



#### 4. Conclusões

Realizando uma análise visual das 60 imagens e, comparando cada uma das 20 amostras de maçã combinadas ao seu tratamento, pode-se afirmar que houve uma possível redução no percentual de velocidades, quando se compara as maçãs íntegras à condição das maçãs com defeito simulado com furo de dimensão maior.

Observando as amostras de maçãs sem a simulação de defeito interno, nota-se que as faixas de velocidades estão reduzidas nas bordas, onde a casca se destaca com menor velocidade, assim, há evidências significativas de baixa velocidade nas rotas conhecidas como “tangenciais de borda” onde houve a redução, na região da casca. Para as maçãs com furo de diâmetro 19,13 mm, as ondas de ultrassom evidentemente contornam o defeito e atravessaram a fruta, havendo uma homogeneização das velocidades. Isto quer dizer que a onda propagada não reconhece o furo, isso pode ter ocorrido pelo fato do diâmetro do furo realizado ser de dimensão similar à do ovário, onde estão localizados as sementes e, a onda, apresenta o mesmo percurso de quando a fruta se encontra íntegra.

Já as amostras de maçã com furo maior (diâmetro de 25,43 mm) houve uma redução geral da velocidade, no entanto verificou-se altos valores de velocidade, mais especificamente destacado como um “cordão marrom”, o que dificulta a validação do furo associado ao defeito interno.

Tendo em vista a dimensão da onda e a dimensão do defeito, o que ocorre é o contorno do defeito pela onda. Além disso, os furos apresentam diâmetros de baixo valor (em mm), logo, precisaria de uma sensibilidade maior para encontrar diferenças entre as médias de velocidades, para as maçãs sem defeitos e com os defeitos simulados através de furo.

Portanto, conclui-se que não é possível detectar o furo através das imagens, pois visualmente a análise é apenas qualitativa e depende do ponto de vista do avaliador.

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 um estudo mais aprofundado, com relação a análise dos padrões de velocidade no fruto ou até mesmo aumentando o diâmetro do furo.

A análise estatística realizada com os valores de velocidades calculados, também não apresentaram diferenças entre as médias de velocidades para as três condições do fruto avaliadas.

#### 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

PALMA, Stella Stopa Assis. **Reconhecimento de padrões em imagens geradas por ultrassom**. Orientador: Raquel Gonçalves. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.