

KAREN MILENA CIRIACO DA CONCEIÇÃO

**DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS E FÍSICAS PARA
CRIAÇÃO DE UM MODELO DIGITAL TRIDIMENSIONAL DO SISTEMA FRUTA-
GALHO DE LARANJEIRAS**

SÃO CRISTÓVÃO

2025

KAREN MILENA CIRIACO DA CONCEIÇÃO

**DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS E FÍSICAS PARA
CRIAÇÃO DE UM MODELO DIGITAL TRIDIMENSIONAL DO SISTEMA FRUTA-
GALHO DE LARANJEIRAS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do grau de Engenheira
Agrícola.

ORIENTADORA: DR^a. NARA SILVEIRA VELLOSO

**SÃO CRISTÓVÃO
2025**

KAREN MILENA CIRIACO DA CONCEIÇÃO

**DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS E FÍSICAS PARA
CRIAÇÃO DE UM MODELO DIGITAL TRIDIMENSIONAL DO SISTEMA FRUTA-
GALHO DE LARANJEIRAS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do grau de Engenheira
Agrícola.

APROVADA EM 20/02/2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **ADILSON MACHADO ENES**
Data: 14/04/2025 14:24:53-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Avaliador: Prof. Dr. Adilson Machado Enes – DEAGRI/UFS

Documento assinado digitalmente
 **MARIO CUPERTINO DA SILVA JUNIOR**
Data: 14/04/2025 12:14:57-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Avaliador: Prof. Dr. Mário Cupertino da Silva Júnior – DEAGRI/UFS

Documento assinado digitalmente
 **NARA SILVEIRA VELLOSO**
Data: 15/04/2025 10:32:36-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Orientadora: Profa. Dra. Nara Silveira Velloso – DEAGRI/UFS

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente as minhas queridas mães (Josefa Graça e Lia), por me apoiarem desde o início dessa trajetória, por sempre acreditarem em mim e também por me mostrar que na vida somos capazes de realizar todos os nossos sonhos e alcançar objetivos.

Agradeço a minha irmã Jordana por sempre me ajudar em situações indiretas no dia-a-dia e me aconselhar sempre, ao meu irmão João Batista Júnior (Binho) pela demonstração de amor e incentivo.

A minha querida orientadora professora Nara Silveira Velloso, por acreditar no meu empenho na realização deste trabalho, por todo aprendizado, apoio e companheirismo.

Agradeço aos meus professores por todo conhecimento e formação profissional, as minhas amigas da universidade por poder compartilhar momentos bons e um vínculo que ficaram marcados para toda a vida.

Agradeço a Deus pela dádiva de viver, aprender, compartilhar e amar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Processo de coleta das amostras de galhos com frutas de laranjeiras. (pg.12)

Figura 2- Corpos de prova fabricados a partir das amostras de: A) galhos de laranjeiras; e B) frutas de laranjeiras. (pg.13)

Figura 3- Medição dos diâmetros em amostras de: A) galhos de laranjeiras; e B) frutas de laranjeiras. (pg.14)

Figura 4- Desenho esquemático da fruta de laranja, considerada como um esferóide triaxial rígido, onde a corresponde ao diâmetro transversal, b o diâmetro polar e c o diâmetro do longitudinal. (pg.14)

Figura 5- Pesagem das amostras de: A) galhos de laranjeiras; e B) frutas de laranjeiras. (pg.15)

Figura 6- Determinação dos volumes das amostras de: A) galhos de laranjeiras; e B) frutas de laranjeiras, imersas em água. (pg.16)

Figura 7- Modelagem computacional em 3D (A) da fruta, (B) do galho e (C) do sistema fruta- galho. (pg. 23)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Diâmetros das amostras selecionadas das frutas de laranja e dos galhos. (pg.15)

Tabela 2- Estatística descritiva dos dados de diâmetros longitudinal, transversal e polar para frutas de laranjas para os estádios de maturação imaturo e maduro(pg.16)

Tabela 3- Estatística descritiva dos dados de diâmetro inferior, superior e médio dos galhos de laranjeiras para os estádios de maturação imaturo e maduro (pg.17)

Tabela 4- Teste de comparação de médias para galhos e frutas de laranjeiras nas maturações imaturas e maduras. (pg.18)

Tabela 5- Estatística descritiva dos dados de Massa do Sistema Fruta-Galho de Laranjeiras para os estádios de maturação imaturo e maduro (pg.19)

Tabela 6- Estatística descritiva dos dados de Volume do Sistema Fruta-Galho de Laranjeiras para o estágio de maturação maduro (pg.20)

Tabela 7- Estatística descritiva dos dados de Densidade do Sistema Fruta-Galho de Laranjeiras para o estágio de maturação maduro (pg.21)

RESUMO

A laranja é a fruta mais produzida e consumida no mundo, sendo o suco a sua principal forma de consumo. Rica em nutrientes, especialmente pelo alto teor de vitamina C, boa parte da sua comercialização se destaca na exportação em larga escala que aumenta o seu consumo em outros países. O presente trabalho teve como objetivo determinar as propriedades físicas e geométricas do sistema fruta-galho da laranja para gerar o modelo digital tridimensional. Amostras de laranjas foram coletadas e corpos de prova das frutas e galhos foram selecionados. Os corpos de prova foram submetidos a medição de diferentes diâmetros relacionados às propriedades geométricas, e de massa, volume e densidade como propriedades físicas, o processo foi realizado nos estádios imaturo e maduro e assim pôde-se determinar valores médios para o modelo a ser desenvolvido. Os diâmetros mensurados não apresentaram mudanças significativas para os galhos, ao contrário das frutas de laranja que apresentaram valores distintos nos diferentes estádios de maturação. Esse trabalho enfatiza a importância de analisar galhos e frutas em diferentes estádios de maturação para obter dados coerentes. A metodologia permitiu a coleta de informações sobre diâmetro, massa, volume e densidade resultando em um banco de dados para pesquisas futuras. A partir desses dados foi criado um modelo digital tridimensional para o sistema fruta-galho de laranjeiras.

Palavras-chave: Colheita mecanizada; vibrações mecânicas; simulações numéricas.

ABSTRACT

Oranges are the most widely produced and consumed fruit in the world, with juice being the main form of consumption. Rich in nutrients, especially due to their high vitamin C content, much of their sales are exported on a large scale, which increases their consumption in other countries. This study aimed to determine the physical and geometric properties of the orange fruit-branch system to generate a three-dimensional digital model. Orange samples were collected and specimens of the fruits and branches were selected. The specimens were subjected to measurements of different diameters related to geometric properties, and of mass, volume and density as physical properties. The process was carried out in the immature and mature stages, and thus it was possible to determine average values for the model to be developed. The measured diameters did not show significant changes for the branches, unlike the orange fruits that presented different values at different stages of ripeness. This study emphasizes the importance of analyzing branches and fruits at different stages of ripeness to obtain coherent data. The methodology allowed the collection of information on diameter, mass, volume and density, resulting in a database for future research. From this data, a simplified three-dimensional digital model for the fruit-branch system of orange trees was created.

Keywords: Mechanized harvesting; mechanical vibrations; numerical simulations.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS	7
2.1 <i>Objetivo Geral</i>	7
2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
4. MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1 <i>Propriedades Geométricas</i>	13
4.2 <i>Propriedades Físicas</i>	15
4.3 <i>Análise Estatística</i>	16
4.4 <i>Modelagem do sistema Fruta-Galho</i>	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5.1 <i>Propriedades Geométricas</i>	18
5.2 <i>Propriedades Físicas</i>	20
5.3 <i>Modelagem do sistema Fruta-Galho</i>	23
6. CONCLUSÃO	25
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1. INTRODUÇÃO

A laranja é a fruta mais produzida, e considerada a mais consumida, em diferentes tipos de produtos, de forma medicinal ou alimentícia, sendo o suco a forma mais comum (PEREIRA *et al.*, 2022). A laranja possui nutrientes como cálcio, potássio, sódio e fósforo importantes para nutrição humana, sobressaindo em sua composição a vitamina C.

Segundo o IBGE (2023), a produção de laranja no Brasil para a safra de 2023, apresentou uma área colhida de 575.437 hectares, com uma produção de 17.615.667 toneladas, alcançando uma produtividade de 30.613 kg/hectare. De acordo com Vidal (2022) a maior parte da produção brasileira da laranja é destinada ao processamento, sendo considerado o maior produtor de suco de laranja e corresponde a 75% das exportações globais do produto.

A região Nordeste do Brasil, em 2022, produziu uma área colhida de 95.216 hectares, e produção total de 1.149.467 toneladas em toda região, sendo os principais produtores os estados da Bahia e de Sergipe. Assim, o Nordeste corresponde a cerca de 7% da produção nacional da laranja (VIDAL, 2024). A cultura da fruta representa 14% do total do valor da produção agrícola sergipana e, em março de 2024, o suco de laranja foi responsável por 68,5% do valor total das exportações no estado, que contabilizam aproximadamente US\$ 9,8 milhões (SEAGRI, 2024).

A colheita mecanizada da laranja, que difere da colheita manual, tem por finalidade aumentar a eficiência no processo desde o momento da colheita da laranja, preservando suas características biológicas, até o seu armazenamento, mantendo assim a qualidade das frutas colhidas, diminuindo os riscos de danos, em uma quantidade de tempo reduzido. Utilizar esse tipo de colheita também representa redução da demanda por mão de obra durante o processo, a fim de alcançar alto rendimento na colheita.

Para realizar a colheita considera-se a utilização do princípio de vibrações mecânicas que necessita de uma máquina onde a planta irá ser submetida a uma vibração forçada ao longo do tempo, a partir da transferência de energia vibracional dos equipamentos aos galhos promovendo a derriça das frutas. É importante o conhecimento dos parâmetros mecânicos da planta, relacionados com sua elasticidade para analisar quando submetidas a fatores externos.

Desta forma, acredita-se que conhecendo as propriedades físicas e mecânicas das plantas de laranjeiras seja possível simular o seu comportamento em um processo de colheita pelo princípio de vibrações mecânicas, a partir do desenvolvimento de um modelo digital tridimensional.

2. OBJETIVOS

2.1 *Objetivo Geral:*

Objetiva-se neste trabalho determinar as propriedades geométricas e físicas do sistema fruta-galho de laranjeiras, analisar os diferentes estádios de maturação (imaturo e maduro), e construir um modelo digital tridimensional.

2.2 *Objetivos Específicos:*

- Determinar os diâmetros dos terços inferiores, médios e superiores dos galhos de laranjeiras;
- Determinar os diâmetros transversais , longitudinais e polares das frutas de laranjeiras;
- Gerar um banco de dados com as propriedades geométricas e físicas do sistema fruta-galho de laranjeiras nas diferentes maturações;
- Gerar um modelo digital tridimensional representativo do sistema fruta-galho de laranjeiras.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) é uma citricultura da família Rutáceas, e é uma das espécies de citros mais cultivadas em larga produção mundial. Possui em sua composição vitamina C e é caracterizada como a fruta de maior consumo no Brasil. As laranjas além de serem reconhecidas como fonte de vitamina C, possuem carotenóides e compostos fenólicos com alta capacidade antioxidante (SILVA *et al.*, 2019).

De acordo com Belarmino et al (2019) a fruta da laranjeira é basicamente composta de vesículas protegidas pela casca, onde se localizam a cera e os óleos responsáveis pelo aroma e cor, enquanto a parte comestível está envolta em gomos e empolas de suco, além das sementes, embora já existam cultivares apirênicas no mercado, com grande aceitação dos consumidores.

A qualidade dos frutos cítricos é importante para sua aceitação no mercado, seja para o consumo *in natura*, seja para o processamento industrial. Os atributos de qualidade dos frutos dizem respeito à aparência, sabor, aroma, textura e valor nutritivo (COSTA e OLIVEIRA, 2018). A produção de suco de laranja necessita de frutos com alta qualidade, a qual é avaliada através das suas características químicas e físicas, que variam durante o período de maturação, e essa variação depende, entre outros fatores, das condições meteorológicas durante a formação e maturação dos frutos. (VOLPE *et al.*, 2002). O parque industrial produtor de suco de laranja concentrado no Brasil constitui-se de fábricas modernas utilizando as mais avançadas tecnologias, aproveitando inclusive os subprodutos das frutas cítricas para produção de dermocosméticos (AMARO E MAIA, 1997).

O cultivo da laranja está presente em todos os estados brasileiros, com uma produção de aproximadamente 17.500.000 toneladas anuais, se concentrando, principalmente, na região Sudeste do país. São Paulo detém 76,5% dessa produção, Minas Gerais 5,4%, Paraná 4,9%, Bahia 3,8% e Sergipe 2,4%. O Nordeste responde por apenas 10% da produção nacional de citros e por menos de 3% das exportações brasileiras de suco de laranja. No entanto, a atividade possui elevada importância social e econômica para Sergipe e Bahia, onde está concentrada mais de 90% da área cultivada com laranja no Nordeste (VIDAL, 2022; ANDRADE, 2019).

Há mais de 100 cultivares de laranjas produzidas no mundo, as quais diferem em tamanho, cor, teores de açúcares e óleos, níveis de acidez, época de colheita e outras peculiaridades adaptativas aos diferentes agroecossistemas brasileiros (BELARMINO *et al.*, 2019).

Segundo Costa *et al.* (2018) a Laranja Pêra é a variedade de citros mais importante da citricultura brasileira, reconhecida como variedade brasileira por excelência e detentora de vantagens e qualidades múltiplas, ganhou preferência dos produtores e consumidores, tornando-se a variedade de citros mais cultivada no país. A multiplicidade de floradas dessa laranjeira, combinada ao seu cultivo em diferentes regiões, proporciona uma oferta mais regular durante o ano, o que lhe confere vantagens comerciais quando comparadas às demais cultivares. Sendo a principal cultivar produzida no estado de Sergipe, e exportada para os demais estados da região nordeste (PASSOS *et al.*, 2020).

Andrade (2019) realizou um estudo nas regiões presentes do estado de Sergipe sobre a produtividade das frutas de laranjas e as condições reais do solo de cada região. Concluindo que é necessário verificar a disponibilidade de água em algumas cidades, a conscientização populacional em consumo de adubos a serem feitos de forma correta, modificar a genética das plantas para evitar a presença de pragas, bem como realizar a correção do solo de forma adequada.

Oliveira e Costa (2011) mencionam em sua pesquisa no município de Lagarto - Sergipe, o crescimento relacionado a cultura da laranja na agricultura familiar, e enfatiza que os agricultores tiveram que adaptar-se ao manejo e preparo para o plantio das laranjas. A região de estudo é responsável pela produção de mais de 70 mil toneladas da cultura. Os autores concluíram que é necessário políticas de fomento para a agricultura familiar para melhoria das condições de produção de citros na região e também a necessidade de informação e acesso a novas tecnologias para qualificar o plantio.

Uma preocupação típica sobre as colhedoras mecânicas de frutas cítricas é seu efeito sobre as plantas. Colhedoras mecânicas de frutas cítricas podem causar danos visuais como desfolha, perda de galhos, remoção de flores e frutos jovens, exposição de raízes e, ocasionalmente, a remoção de alguma casca, além da colheita de laranjas em maturações indesejadas (SHAMSHIRI, 2008).

Segundo Shamshiri (2008) árvores cítricas bem manejadas podem tolerar algum nível de desfolha, bem como qualquer possível dano à raiz e à casca causado pela colheita mecânica com um agitador de tronco, sem desenvolver estresse fisiológico. A qualidade e a maturação das frutas são outros dois parâmetros a serem considerados na colheita e no manuseio mecânico. A maioria dos métodos de detecção da qualidade da fruta em pomares é baseada em leituras destrutivas dos parâmetros acidez, suculência e teor de sólidos solúveis.

Em estudo realizado por Osório *et al.* (2017) os autores puderam verificar que a colheita na cultura da laranja ainda é realizada quase em sua totalidade de forma manual tanto para pequenos quanto para médios e grandes produtores, representando aproximadamente 19% dos custos na produção. A oferta de mão-de-obra para a colheita manual demonstra-se cada vez mais escassa. Os autores salientam ainda que a falta de maquinários para a colheita da laranja afeta principalmente os custos de produção, necessitando de investimentos neste setor que apresenta acentuada demanda por variedade de equipamentos.

É importante conhecer as propriedades físicas da laranja para sua produção, colheita e comercialização. Estas propriedades referem-se ao comportamento das laranjas em diversas situações e em níveis de solicitação. O uso de determinado mecanismo em interação com as plantas de laranjas só pode ser feito quando se pode prever o que vai acontecer quando as plantas forem solicitadas por fatores do cotidiano de trabalho, tais como aquecimento, resfriamento, tração, torção, corte, cisalhamento, dentre outros. Dentre as propriedades físicas podemos citar dimensões geométricas, massa, volume, área de superfície, porosidade e ângulo de atrito estático (Sharifi *et al.*, 2007).

Segundo Shamshiri (2008) as propriedades físico-mecânicas de frutas cítricas devem ser consideradas no projeto de colhedoras mecânicas. Ademais, as propriedades físico-mecânicas da casca de laranja e frutas estão relacionadas à pós-colheita das frutas nas etapas de transporte e armazenamento em condições ambientais e refrigeradas.

Topuz *et al.* (2004) em sua pesquisa mencionou o estudo das propriedades físicas para diferentes variedades da laranja, que tinha por intuito determinar uma tabela de referência no processo de mecanização e processamento das laranjas. Muitas propriedades físicas das variedades de laranja foram determinadas, tais como comprimento, diâmetro, diâmetro médio geométrico, esfericidade, volume, área de superfície, área projetada, massa, densidade do fruto, coeficiente de atrito estático e cor, apresentando diferenças significativas na maioria das propriedades estudadas. Essas informações salientam a importância de analisar as propriedades físicas e mecânicas quanto a sua produção, como em um processo de colheita mecanizada utilizando o princípio de vibrações mecânicas.

De acordo com Gharaghani e Maghsoudi (2018) para a simulação de frutos de laranja usando o Método de Elementos Finitos é necessário conhecer algumas propriedades mecânicas do fruto, como módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, que são necessárias como duas

propriedades fundamentais de entrada para sólidos elásticos e viscoelásticos no cálculo de tensão e deformação elástica. O coeficiente de Poisson em materiais orgânicos é função do teor de umidade, tensão e taxa de carregamento, e em termos teóricos varia de 0 a 0,5.

A modelagem computacional é uma técnica responsável por representar matematicamente modelos reais onde é possível criar representações digitais para obter dados que seriam incapazes de serem obtidos por análises diretas. A partir de um modelo computacional um sistema pode ser analisado sem a necessidade de ensaios destrutivos, com o uso de simulações numéricas.

Gharaghani e Maghsoudi (2018) desenvolveram em suas análises modelos da laranja para estudar o seu comportamento de deformação sob a queda. Assim, foi feita uma modelagem 3D com o uso do *software* solidWORKS com o uso das dimensões coletadas das amostras reais, os dados coletados foram os diâmetros equatorial, polar, e a espessura de cada amostra. Concluindo que a modelagem das amostras é de grande importância para testes experimentais não destrutivos.

Gharaghani e Maghsoudi (2019) modelaram os frutos de laranjas a partir de dados de diâmetros equatoriais e polares, e espessuras de amostras coletadas em diferentes estádios de maturação. A partir de um ambiente de simulação, os modelos foram submetidos a vibrações mecânicas, a partir de um impacto, para análise de seu comportamento dinâmico, extraindo suas frequências naturais e modos de vibração. Os autores concluíram que a utilização de modelos é importante para determinar o comportamento das laranjas em um processo de colheita por vibrações mecânicas dispensando o uso de ensaios destrutivos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho utilizou-se amostras de laranjas da variedade conhecida popularmente como laranja- pêra (*Citrus sinensis*). As amostras foram coletadas no município de Lagarto/SE na propriedade rural familiar “Joãozinho do maracujá”, o plantio tem aproximadamente 20 anos. A região apresenta temperatura média anual de 24,5°C, precipitação pluviométrica média anual de 1.032,1 mm, e solos dos tipos planossolo, litossolo eutrófico, argissolos vermelho e amarelo, e latossolo (SEPLANTEC, 2002). Durante o processo foram coletados galhos com frutas, utilizando tesoura de poda e luvas, no estágio de maturação imaturo, selecionados de forma aleatória, em plantas selecionadas também de forma aleatória (Figura 1). Posteriormente, o mesmo processo foi realizado para o estágio maduro da laranja. Os estádios de maturação foram identificados de forma visual, pela cor e formato das frutas nas plantas. Todas as amostras foram submetidas a medições nos mesmos dias em que foram coletadas para preservar suas características bioquímicas. As medições foram realizados no laboratório de Máquinas e Motores, do Departamento de Engenharia Agrícola localizado na Universidade Federal de Sergipe/UFS.



Figura 1: Processo de coleta das amostras de galhos com frutas de laranjeiras.

Durante a coleta das amostras, em ambos estágios de maturação, foi necessária a cautela na colheita e armazenagem das amostras, que foram mantidas em caixotes preservando a união frutagalho para que não sofressem alteração em sua estrutura e interferência nos resultados finais.

Após a coleta manual das amostras foi realizada a separação e limpeza retirando as folhas. Em seguida foram separados os galhos e as laranjas em cada amostra para fabricação dos corpos de prova (Figura 2).

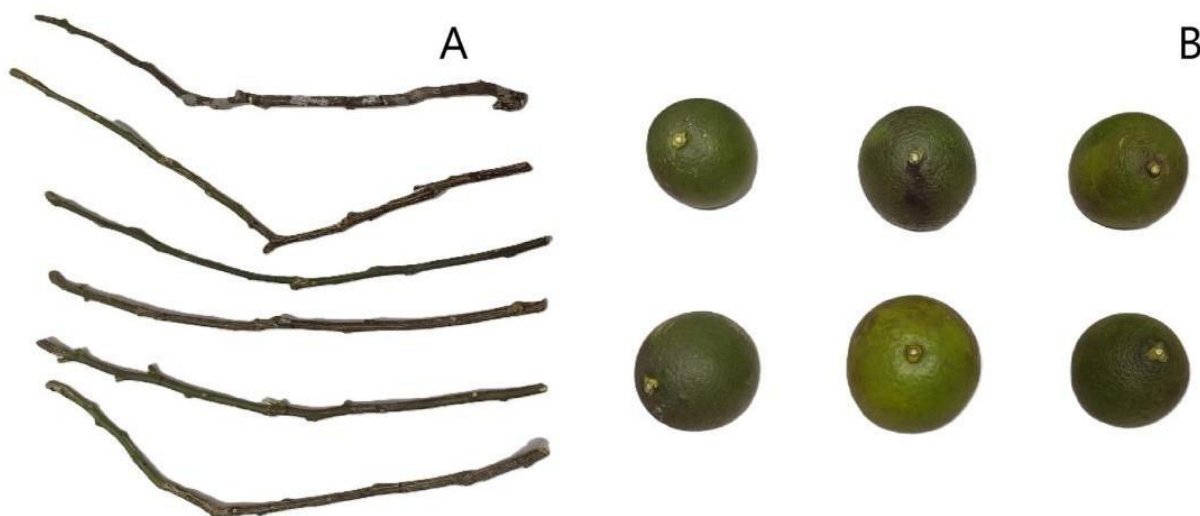


Figura 2: Corpos de prova fabricados a partir das amostras de: A) galhos de laranjeiras; e B) frutas de laranjeiras.

Cada corpo de prova do galho foi cortado rente ao fruto com intuito de manter o maior tamanho possível e foram medidos os seus diâmetros como propriedades geométricas, e as massas, os volume e as densidades como propriedades físicas. Nos corpos de prova das frutas de laranjas também foram medidos os diâmetros como propriedades geométricas, e as massas, os volumes e as densidades como propriedades físicas. Tais procedimentos foram repetidos para os estádios de maturação imaturo e maduro.

O processo de determinação das propriedades analisadas será descrito adiante, no item 4.1.

4.1 Propriedades geométricas

Para determinar os diâmetros, os galhos foram demarcados em três partes iguais,

consideradas terço inferior, terço médio e terço superior, sendo o terço inferior mais próximo ao tronco e o superior mais próximo à fruta. Cada diâmetro foi medido com um paquímetro digital da marca NYBC, modelo LDSC09199, com precisão de 0,01mm (Figura 3).

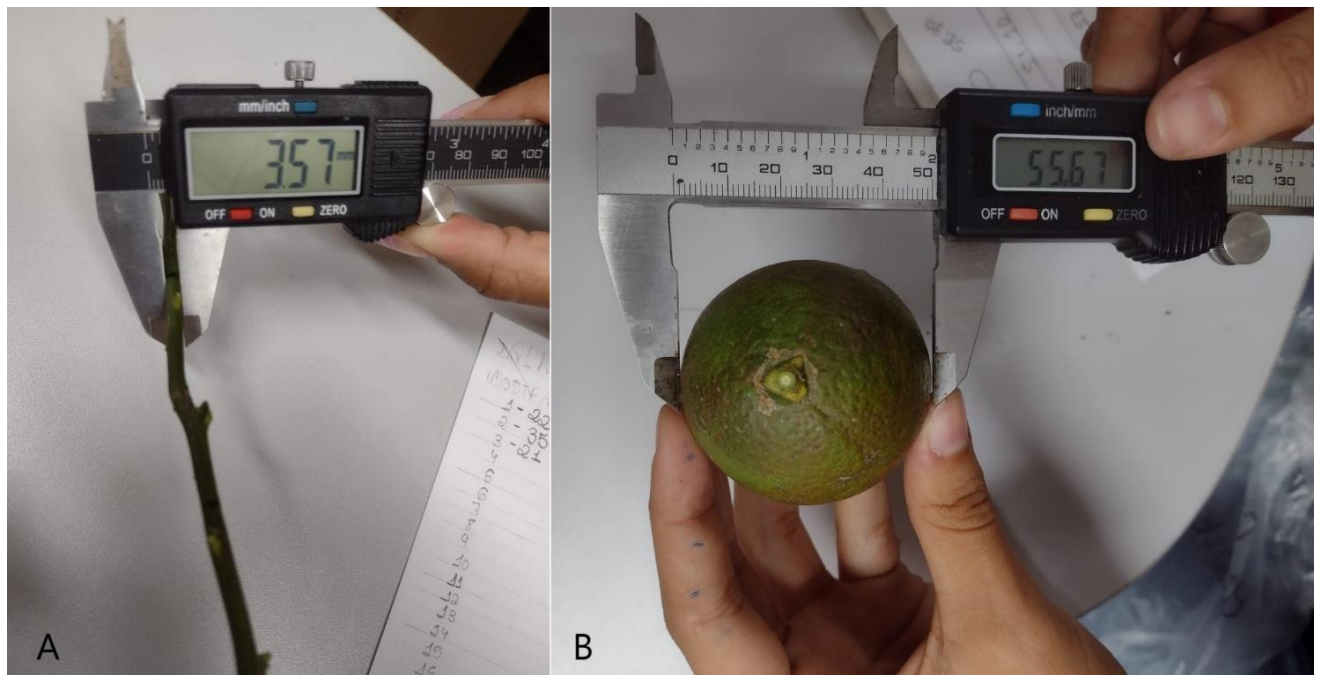
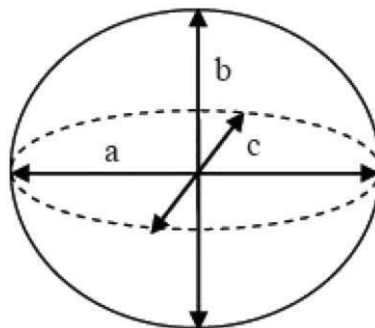


Figura 3: Medição dos diâmetros em amostras de: A) galhos de laranjeiras; e B) frutas de laranjeiras.

As frutas foram consideradas como um esferóide triaxial rígido, sendo determinados os diâmetros longitudinais, transversais e polares com auxílio do paquímetro digital como mostra a figura 4.



Fonte: Adaptado de Mohsenin (1986).

Figura 4: Desenho esquemático da fruta de laranja, considerada como um esferóide triaxial rígido, onde a corresponde ao diâmetro transversal, b o diâmetro polar e c o diâmetro do longitudinal.

4.2 Propriedades físicas

Para determinação da densidade dos corpos de prova dos galhos e frutas foram mensuradas a massa e o volume no estágio de maturação maduro. Para coleta dos dados de massa, utilizou-se uma balança de precisão da marca Marte, modelo AD200 e precisão de 0,001g; e para a fruta foi utilizada uma balança marca Weblaborsp, modelo L3102i e precisão de 0,01g (Figura 5).

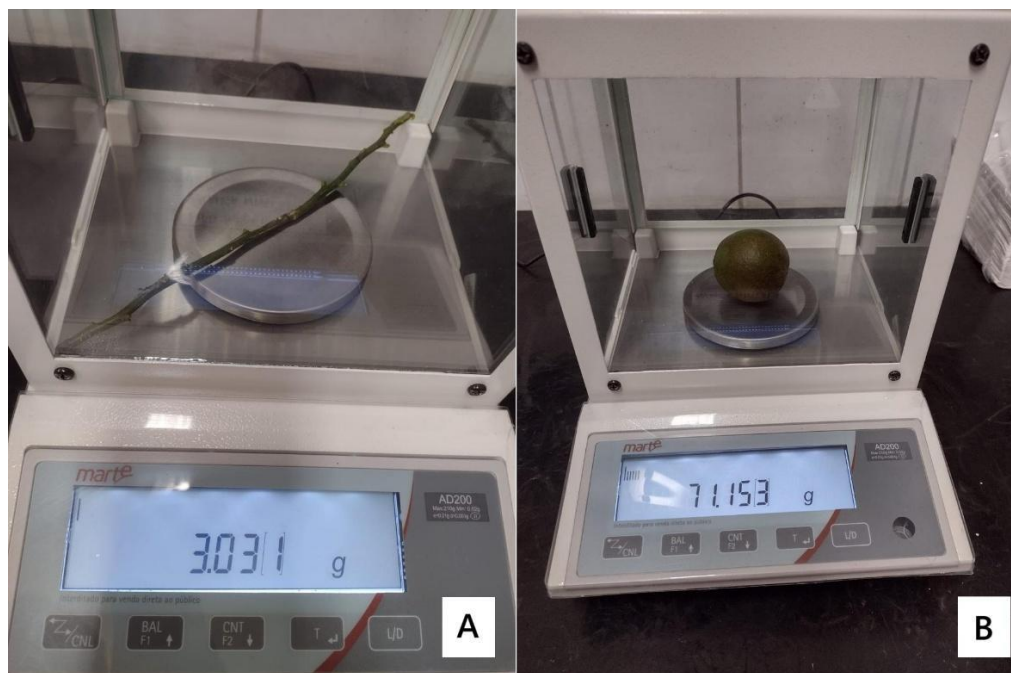


Figura 5: Pesagem das amostras de: A) galhos de laranjeiras; e B) frutas de laranjeiras.

Para determinar o volume foi utilizada uma proveta graduada, com graduação de 5 ml para os galhos, e um becker, com graduação de 20 ml para as frutas (Figura 6).

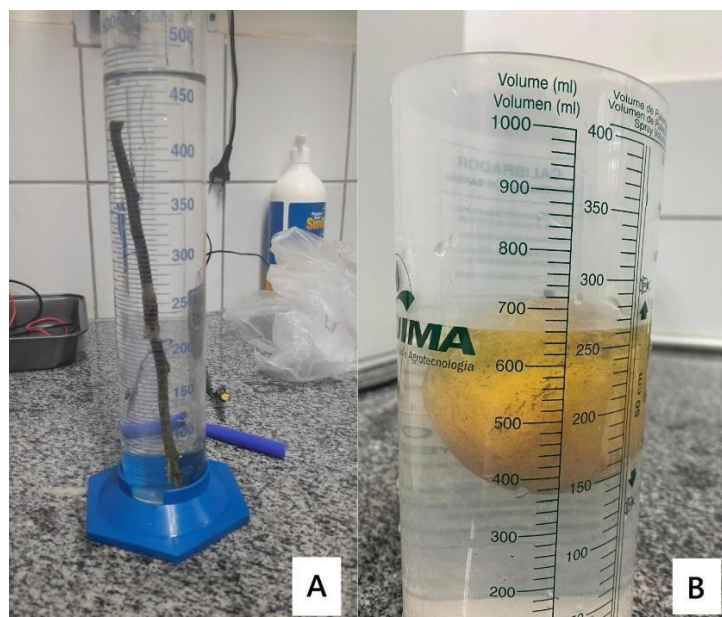


Figura 6: Determinação dos volumes das amostras de: A) galhos de laranjeiras; e B) frutas de laranjeiras, imersas em água.

Os volumes foram calculados seguindo o princípio de Arquimedes, em imersão em água (Equação 1).

$$V = V_f - V_i \quad (1)$$

Em que,

V = volume deslocado em coluna de água, ml;

V_f = volume final após imersão da amostra, ml;

V_i = volume inicial antes da imersão da amostra, ml;

Desta forma, a densidade foi calculada a partir do quociente da massa pelo volume.

4.3 Análise estatística

Após determinação das propriedades físicas, foram feitas as análises estatísticas no laboratório de prototipagem (LAPROT/UFS) e foi utilizado o *software* livre Assistat, versão 7.7 (Silva e Azevedo, 2016) onde foi verificada a normalidade dos valores coletados pelo teste de Shapiro-Wilk. Para os dados que apresentaram distribuição normal foi realizado a Anova, e quando observada as diferenças os dados foram submetidos ao teste de comparação de média de Tukey. Os dados que apresentaram distribuição não normal foram submetidos ao teste de comparação de

média de Mann-Whitney.

4.4 Modelagem do sistema Fruta-Galho

Para criação do modelo computacional do sistema fruta-galho de laranjeiras foi utilizado o *software* solidWORKS, onde foi possível modelar o galho a partir das médias dos diâmetros inferiores e superiores de amostras que foram submetidas à forças externas, e medidas as suas deformações, em laboratório (12 amostras). O modelo de galho foi aproximado de um cone. Para as frutas utilizou-se a média dos seus diâmetros longitudinais e polares, das mesmas amostras, deixando-as similar a uma esfera maciça (tabela 1).

Tabela 1: Diâmetros das amostras selecionadas das frutas de laranja e dos galhos.

Amostras	FRUTAS		GALHOS	
	Diâm. Longitudinal	Diâm. Polar	Diâm. Inferior	Diâm. Superior
20	79.92	74.74	4.71	3.78
39	78.44	77.69	5.5	3.28
2	65.25	67.79	5.68	3.56
22	78.55	76.21	5.95	4.66
13	78.58	77.56	6.81	3.5
40	78.44	79.5	6.1	3.8
1	76.38	74.04	4.42	3.8
30	61.82	62.64	4.95	3.81
4	74.31	70.3	5.23	3.64
41	70.18	74.81	6.74	4.6
6	66.41	65.23	5.33	3.79
16	75.37	72.52	4.24	4.01

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Propriedades geométricas

Foram determinados os diâmetros médio, inferior e superior para as amostras dos galhos, e diâmetros longitudinal, transversal e polar para as amostras de frutas analisadas nos diferentes estádios de maturação (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2: Estatística descritiva dos dados de diâmetros longitudinal, transversal e polar para frutas de laranjeiras nos estádios de maturação imaturo e maduro

	Frutas					
	Diâmetro Longitudinal (mm)		Diâmetro Transversal (mm)		Diâmetro Polar (mm)	
	Imaturo	Maduro	Imaturo	Maduro	Imaturo	Maduro
N	37	45	37	45	37	45
Máximo	67,09	91,98	63,41	91,07	67,84	90,80
Mínimo	37,44	55,15	37,07	54,48	39,98	56,37
Média	54,00	72,25	53,30	71,33	56,96	70,76
Coefficiente de Variação	13,00	10,34	12,41	10,11	11,23	10,57
Desvio Padrão	6,97	7,47	6,61	7,21	6,39	7,48

N= número de corpos de prova.

Tabela 3: Estatística descritiva dos dados de diâmetros inferior, superior e médio para os galhos de laranjeiras nos estádios de maturação imaturo e maduro

	Galhos					
	Diâmetro Inferior (mm)		Diâmetro Médio (mm)		Diâmetro Superior (mm)	
	Imaturo	Maduro	Imaturo	Maduro	Imaturo	Maduro
N	37	41	37	41	37	41
Máximo	6,25	8,20	5,89	5,49	5,57	4,74
Mínimo	2,85	3,14	2,97	2,94	2,72	2,95
Média	5,00	4,86	4,08	4,07	3,61	3,63
Coefficiente de Variação	15,09	22,67	15,62	15,82	18,63	12,53
Desvio Padrão	0,69	1,10	0,63	0,64	0,67	0,45

N= número de corpos de prova.

A cultura apresenta variação em suas propriedades geométricas (diâmetros), tanto para os galhos quanto para as frutas. Este comportamento é esperado, visto que é um comportamento comumente observado em culturas agrícolas.

Gharaghani e Maghsoudi (2018) encontraram valores de diâmetro equatorial e polar de 70,0 mm ($\pm 2,58$ mm) e 69,04 mm ($\pm 2,18$ mm), respectivamente, para frutas de laranja no estágio de maturação maduro. Esses valores corroboram com os valores encontrados no presente estudo.

As médias calculadas foram comparadas e não apresentaram diferenças significativas para os galhos em seus diferentes estádios de maturação, em contrapartida as frutas apresentaram diferenças significativas para todos os diâmetros analisados e para a massa total (Tabela 4).

Tabela 4: Teste de comparação de médias para galhos e frutas de laranjeiras nas maturações imaturas e maduras

	Galhos			Frutas			
	Diâmetro Inferior*	Diâmetro Médio*	Diâmetro Superior**	Diâmetro Longitudinal*	Diâmetro Transversal*	Diâmetro Polar*	Massa Total**
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(g)
Imaturo	4,58 a	4,08 a	3,62 a	54,45 a	53,30 a	56,96 a	91,14 a
Maduro	4,86 a	4,08 a	3,64 a	72,26 b	71,33 b	72,26 b	207,02 b

As médias seguidas pela mesma letra, na coluna, são consideradas iguais ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey* e Mann-Whitney**.

Desta forma, percebe-se que as frutas apresentaram dimensões globais distintas nas diferentes maturações, os diâmetros aumentam conforme a maturação evolui.

Silva *et al.* (2019) observaram comportamento contrário para frutas de laranjas das variedades “Baía” e “Comum”, e comportamento análogo para variedade “Mimo-do-céu”, constatando que além da variabilidade natural da cultura, suas propriedades geométricas podem ainda ser influenciadas pelas diferentes variedades.

Sendo assim, acredita-se que em um processo de modelagem computacional seria necessário desenvolver modelos distintos para cada maturação estudada.

5.2 Propriedades físicas

As propriedades determinadas para os diferentes estádios de maturação do sistema frutagalho da laranja integraram a estatística descritiva de cada propriedade física, sendo massa, volume e densidade.

Os valores médios de massa encontrados para os galhos foram 3,23 g e 4,76 g; e para as frutas foram 91,14 g e 207,02 g, nas maturações imaturo e maduro, respectivamente (Tabela 5)

Tabela 5: Estatística descritiva dos dados de Massa do Sistema Fruta-Galho de Laranjeiras para os estádios de maturação imaturo e maduro

Massa (g)				
	Frutas		Galhos	
	Imaturo	Maduro	Imaturo	Maduro
N	37	45	37	41
Máximo	155,6	415,46	4,7	12,95
Mínimo	31,00	97,63	1,90	1,35
Média	91,14	207,02	3,23	4,76
Coeficiente de Variação	34,75	29,99	23,45	55,07
Desvio Padrão	31,67	62,09	0,75	2,62

N= número de corpos de prova.

Os valores médios de volume encontrados para os galhos foi 5,43 cm³; e para as frutas foi 193,21 cm³, na maturação maduro (Tabela 6).

Tabela 6: Estatística descritiva dos dados de Volume do Sistema Fruta-Galho de Laranjeiras para o estágio de maturação maduro

Volume (cm³)		
	Frutas	Galhos
N	42	16
Máximo	300,00	10,00
Mínimo	95,00	1,00
Média	193,21	5,43
Coeficiente de Variação	24,76	45,5
Desvio Padrão	47,85	2,47

N= número de corpos de prova.

Assim como as propriedades geométricas, as propriedades físicas também apresentam variação em seus valores. Esta alta variação pode ser explicada pela ausência de padronização dos corpos de prova utilizados. Por se tratar de um material biológico os valores obtidos dependem da variação natural da cultura. Um comportamento análogo foi observado para valores de módulo de elasticidade encontrados nas culturas do café e macaúba (VELLOSO *et al.* 2020; VILLAR *et al.* 2017).

Gharaghani e Maghsoudi (2018) encontraram para frutas de laranjas maduras o valor de 185 cm³, com desvio padrão de ± 16 cm³. Este resultado corrobora com os encontrados neste estudo de 193,21 cm³, com desvio padrão de $\pm 47,85$ cm³.

Os valores médios de densidade encontrados para os galhos foi 1,46 g.cm⁻³; e para as frutas foi 1,01 g.cm⁻³, na maturação maduro (Tabela 7).

Tabela 7: Estatística descritiva dos dados de Massa Específica do Sistema Fruta-Galho de Laranjeiras para o estágio de maturação maduro

Densidade (g/cm³)		
	Frutas	Galhos
N	42	16
Máximo	1,48	5,37
Mínimo	0,96	0,64
Média	1,10	1,46
Coefficiente de Variação	7,43	88,20
Desvio Padrão	0,07	1,29

N= número de corpos de prova.

Os dados foram obtidos apenas para maturação maduro, pois este era o estágio de interesse no processo de colheita.

Gharaghani e Maghsoudi (2018) encontraram para frutas de laranjas maduras o valor de 0,837 g.cm⁻³, com desvio padrão de $\pm 0,023$ g.cm⁻³. Em um trabalho similar Gharaghani *et al.* (2020) encontraram o valor de densidade de 0,906 g.cm⁻³ com desvio padrão de $\pm 0,021$ g.cm⁻³. Tais valores correspondem aos determinados neste estudo de 1,01 g.cm⁻³ com desvio padrão de

$\pm 0,07 \text{ g.cm}^{-3}$.

Savary *et al.* (2010) encontraram para a madeira do tronco de laranjeiras a densidade sólida de $1,345 \text{ g.cm}^{-3}$ com desvio padrão de $\pm 0,056 \text{ g.cm}^{-3}$. Este valor valida o encontrado no presente trabalho de $1,46 \text{ g.cm}^{-3}$, no entanto o desvio padrão apresentou um valor elevado de $1,29 \text{ g.cm}^{-3}$, e coeficiente de variação de 88,2% demonstrando a alta variabilidade das propriedades mecânicas de produtos biológicos.

5.3 Modelagem do sistema Fruta-Galho

Foram desenvolvidos dois modelos distintos, um modelo para a fruta e um modelo para o galho, separadamente. Posteriormente, no próprio software, as partes integrantes foram acopladas, formando um modelo representativo do sistema fruta-galho das laranjeiras (Figura 7).

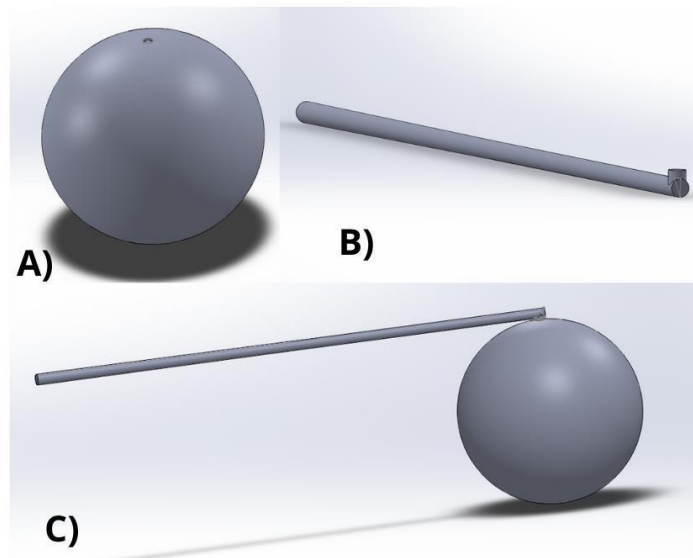


Figura 7: Modelagem computacional em 3D (A) da fruta, (B) do galho e (C) do sistema fruta-galho.

Modelos desenvolvidos a partir de simplificações do sistema físico real são capazes de retornar valores que podem ser utilizados em projetos e ajustes de máquinas para colheitas por vibrações mecânicas, demonstrando inclusive diferenças de frequências em diferentes maturações que podem ser consideradas em processos de colheita seletiva (Santos *et al.*, 2021).

No entanto, modelos em que as deformações naturais das plantas são consideradas retornam valores de frequências naturais mais próximos dos observados laboratorialmente para os sistemas

físicos reais (Pereira *et al.*, 2021).

Com os dados encontrados será possível realizar simulações do comportamento dinâmico da cultura da laranjeira quando submetida a esforços externos, para prever o seu comportamento em um processo de colheita por vibrações mecânicas.

6. CONCLUSÃO

A partir dos estudos realizados neste trabalho pode-se concluir a importância de analisar os galhos e frutas em tempos cronológicos diferentes respeitando os estádios de maturação do sistema fruta-galho para gerar dados coerentes, como também as propriedades físicas e geométricas nos estádios imaturos e maduros apresentaram resultados diferentes em suas dimensões (diâmetros).

A metodologia utilizada permitiu que os dados de diâmetros, massa, volume e densidade fossem coletados, em diferentes maturações, formalizando um banco de dados que fica à disposição para pesquisas futuras que visam determinar o comportamento estático ou dinâmico de plantas de laranjeiras submetidas a esforços externos.

Percebe-se que com a evolução da maturação de frutas de laranjas, da variedade “laranja-pêra”, suas propriedades geométricas apresentam tendência em aumentar. O mesmo não ocorre para os galhos, que não apresentam diferenças significativas em seus diâmetros com a evolução da maturação.

A partir dos cálculos de média dos dados obtidos foi gerado um modelo digital tridimensional simplificado para o sistema fruta-galho, feito a partir de aproximações dos diferentes diâmetros. No entanto, o modelo desenvolvido não foi validado. Desta forma, os autores deixam como sugestão para trabalhos futuros a validação e melhoria do modelo, considerando os diferentes diâmetros, nos diferentes estádios de maturação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaro, A. A.; Maia, M. L. Produção e comércio de laranja e de suco no Brasil. **Informações Econômicas**, v.27, n.7, 1997.
- Andrade, A. C. S. N. **Circuito espacial da produção e círculos de cooperação na citricultura no estado de Sergipe**. 2019. 246 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.
- Belarmino, L. C.; Garcia, E. C.; Pasbsdorf, M. N.; Oliveira, I. P.; Belarmino, A. J. Análises econômicas dos sistemas de produção de laranja convencional, orgânico e agroflorestal
- Costa, L. F. S.; Ferreira, E. M.; Junqueira, P. H.; Lobo, L. M.; Muniz, C. O.; Isepon, J. S. Características físicoquímicas e produtividade da laranja ‘Pera’ em função da aplicação de aminoácidos em cobertura. **Revista Trópica –Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 10, n. 01, p.53 - 62, 2018.
- Gharaghani, B. N.; Maghsoudi, H. Free fall analysis of orange fruit using numerical and experimental methods. **International Journal of Food Properties**, v. 21, n. S1, p. S484 – S495, 2018.
- Gharaghani, B. N.; Maghsoudi, H.; Mohammadi, M. Ripeness detection of orange fruit using experimental and finite element modal analysis. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 108958, 2020.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Produção agropecuária 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>. Acesso em: 11 fev. 2025.
- Mohsenin, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.
- no Sul do Brasil. **Custos e agronegócio**, v. 15, p. 402-433, 2019.
- Oliveira, E. R. S. S.; Costa, J. E. A pequena produção familiar no município de Lagarto/Sergipe. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, n. 47E, p. 1-14, 2011.
- Osorio, R. M. L.; Lima, S. M. V.; Sant’anna, R. L.; Castro, A. M. G. Demandas tecnológicas da cadeia produtiva de laranja no Brasil. **Latin American Journal Of Business Management**, v. 8, n. 2, p. 40-66, 2017.
- Pereira, M. R.; Santos, F. L.; Velloso, N. S.; Villar, F. M. M.; Rodrigues, M. R. Modeling and simulation of the dynamic behavior of the macaw palm fruit-rachilla system. **Simulation**, v. 0, p. 1 – 14, 2021.
- Santos, F. L.; Scinocca, F.; Marques, D. S.; Velloso, N. S.; Villar, F. M. M. Modal properties of macaw palm fruit-rachilla system: An approach by the stochastic finite element method (SFEM). **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 184, p. 106099, 2021.

Savary, S. K. J. U., Ehsani, R., Schueller, J. K., Rajaraman, B. P. Simulation study of citrus tree canopy motion during harvesting using a canopy shaker. **Transactions of the ASABE**, v. 53, p. 1373-1381, 2010.

SEAGRI – Secretaria de Estado da Agricultura, Desenvolvimento Agrário e da Pesca de Sergipe. **Suco de laranja foi responsável por 68,5% das exportações em Sergipe**. Disponível em: <https://seagri.se.gov.br/suco-de-laranja-foi-responsavel-por-685-das-exportacoes-em-sergipe/>. Acesso em: 11 fev. 2025.

SEPLANTEC – Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia. Projeto cadastrado da infra-estrutura hídrica do Nordeste – Sergipe, Aracaju. Maio, 2002.

Shamshiri, R. **Citrus mechanical Harvesting**. Review of Literature Report (2008).

Sharifi, M.; Rafiee, S.; Keyhani, A.; Jafari, A.; Mobli, H.; Rajabipour, A.; Akram, A. Some physical properties of orange (var. Thompson). **International Agrophysics**, v. 21, p. 391-397, 2007.

Silva, A. F.; Silva, B. M.; Sousa, A. S. B.; Figueiredo, V. M. A.; Mendonça, R. M. N.; Silva, S. M. Quality, bioactive compounds and antioxidant activity during maturation of oranges produced in the Borborema territory. **Rev. Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 526 – 536, 2019.

Silva, F. A. S.; Azevedo, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n.39, p. 3733-3740, 2016.

Velloso, N. S.; Magalhães, R. R.; Santos, F. L.; Nunes, M. F. P. N.; Vincentini, B. Physical and mechanical properties of the wood of coffee trunks and branches. **Coffee Science**, v. 15, p. e151753, 2020.

Vidal, M. F. CITRICULTURA (LARANJA). **Caderno Setorial ETENE**, Fortaleza, v. 9, n. 343, 2024. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/2621>. Acesso em: 11 fev. 2025.

Vidal, M. F. CITRICULTURA: LARANJA. **Caderno Setorial ETENE**, Fortaleza, v. 7, n. 241, 2022. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/2809>. Acesso em: 11 fev. 2025.

Villar, F. M. M.; Pinto, F. A. C.; Santos, F. L.; Grossi, J. A. S.; Velloso, N. S. Elasticity modulus and damping ratio of macaw palm rachillas. **Ciência Rural**, v.47, n. 02, p. e20160289, 2017.