

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS MORRINHOS

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OLERICULTURA – PPGOL

AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMA PARA DETERMINAÇÃO DE  
FIRMEZA DE HORTALIÇAS FRUTO

Autor: Luciana Eduardo de Souza Ferreira  
Orientadora: Dr<sup>a</sup> Clarice Aparecida Megguer

MORRINHOS – GO

2023

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS MORRINHOS

PRÓ-REITORIA PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OLERICULTURA – PPGOL

AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMA PARA DETERMINAÇÃO DE  
FIRMEZA DE HORTALIÇAS FRUTO

Autor: Luciana Eduardo de Souza Ferreira  
Orientadora: Dr<sup>a</sup> Clarice Aparecida Megguer

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM OLERICULTURA, no Programa de Pós-Graduação em Olericultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos – Área de Concentração: Olericultura.

MORRINHOS – GO

2023

## FICHA CATALOGRÁFICA

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/IF Goiano Campus Morrinhos

F383a Ferreira, Luciana Eduardo de Souza.

Automatização de sistema para determinação de firmeza de hortaliças fruto. / Luciana Eduardo de Souza Ferreira. – Morrinhos, GO: IF Goiano, 2023.

47 f. : il. color.

Orientadora: Dra. Clarice Aparecida Megguer.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos, Bacharelado em Agronomia, 2023.

1. *Solanum lycopersicum* L. 2. Pós-colheita. 3. Método não destrutivo. I. Megguer, Clarice Aparecida. II. Instituto Federal Goiano. III. Título.

CDU 635.64

Fonte: Elaborado pela Bibliotecária-documentalista Morgana Guimarães, CRB1/2837

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

### IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado)                  | <input type="checkbox"/> Artigo científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização)       | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação)                   | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Luciana Eduardo de Souza Ferreira

Matrícula:

20212043304I0087

Título do trabalho:

AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMA PARA DETERMINAÇÃO DE FIRMEZA DE HORTALIÇAS FRUTO

### RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:  /  /

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente  
 LUCIANA EDUARDO DE SOUZA FERREIRA  
Data: 14/09/2023 22:09:46-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Morrinhos, GO  
Local

14 / 09 / 2023  
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Documento assinado digitalmente  
 CLARICE APARECIDA MEGGUER  
Data: 14/09/2023 22:15:32-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 9/2023 - SGP GPI-MO/GPGPI-MO/CMPMHOS/IFGOIANO

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**  
**ATA Nº 110**  
**BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Aos vinte e quatro dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e três, às 08h:00 min (oito horas), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão aberta realizada por videoconferência ([https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting\\_ZGFINjFjNWUtNDYwOS00MzNhLWI5MjltMTY1YmU4OWQ0YmZl%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%22aebb2352-b420-4b8f-8e40-f408640349e3%22%2c%22Oid%22%3a%22e35eb851-75fc-4589-ae7b-dad6f5147590%22%7d](https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_ZGFINjFjNWUtNDYwOS00MzNhLWI5MjltMTY1YmU4OWQ0YmZl%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%22aebb2352-b420-4b8f-8e40-f408640349e3%22%2c%22Oid%22%3a%22e35eb851-75fc-4589-ae7b-dad6f5147590%22%7d)) para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, intitulada "AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMA PARA DETERMINAÇÃO DE FIRMEZA DE HORTALIÇAS FRUTO " de autoria de **Luciana Eduardo de Souza Ferreira** discente do Programa de Pós-Graduação em Olericultura do Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos. A sessão foi aberta pela presidente da Banca Examinadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Clarice Aparecida Megguer, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida a autora para, em 30 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca fez suas arguições, adotando-se o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Olericultura, e procedidas às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM OLERICULTURA**, na linha de pesquisa em Sistema de Produção em Olerícolas, pelo Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGOL da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação de artigo científico oriundo dessa Dissertação em periódico após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

<b>Nome</b>	<b>Instituição</b>	<b>Situação no Programa</b>
Prof <sup>a</sup> . Dr <sup>a</sup> . Clarice Aparecida Megguer	IF Goiano-Campus Morrinhos	Presidente

Prof. Dr. Alexandre Carvalho Silva	IF Goiano-Campus Morrinhos	Membro externo
Gelson Goulart da Silva Lima	CVR Plant Breeding Ltda	Membro externo
Prof <sup>a</sup> . Dr <sup>a</sup> Ana Maria Mapeli	Universidade Federal do Oeste da Bahia	Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- **Gelson Goulart da Silva Lima**, Gelson Goulart da Silva Lima - 222110 - **Agrônomo** - Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos (10651417000330), em 24/08/2023 10:47:31.
- **Ana Maria Mapeli**, Ana Maria Mapeli - Professor Avaliador de Banca - Universidade Federal do Oeste da Bahia (18641263000145), em 24/08/2023 10:30:23.
- **Alexandre Carvalho Silva**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 24/08/2023 10:16:52.
- **Clarice Aparecida Megguer**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 24/08/2023 10:09:48.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 23/08/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 524514  
Código de Autenticação: 5ee9ddf1e9



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Morrinhos  
Rodovia BR-153, Km 633, Zona Rural, SN, Zona Rural, MORRINHOS / GO, CEP 75650-000  
(64) 3413-7900



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Formulário 11/2023 - SGPGPI-MO/GPGPI-MO/CMPMHOS/IFGOIANO

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OLERICULTURA**

AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMA PARA DETERMINAÇÃO DE FIRMEZA DE  
HORTALIÇAS FRUTO

Autora: Luciana Eduardo de Souza Ferreira

Orientadora: Clarice Aparecida Megguer

TITULAÇÃO: Mestre em Olericultura - Área de Concentração em Sistema de  
Produção em Olerícolas.

APROVADA em 24 de agosto de 2023

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Clarice Aparecida Megguer

Presidente da Banca

Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos

Prof. Dr. Alexandre Carvalho Silva

Avaliador externo

Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos

Gelson Goulart da Silva Lima

Avaliador externo

CVR Plant Breeding Ltda

Profª. Drª Ana Maria Mapeli

Avaliador externo

Universidade Federal do Oeste da Bahia

Documento assinado eletronicamente por:

- Gelson Goulart da Silva Lima, Gelson Goulart da Silva Lima - 222110 - Agrônomo - Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos (10651417000330), em 24/08/2023 10:48:19.
- Ana Maria Mapeli, Ana Maria Mapeli - Professor Avaliador de Banca - Universidade Federal do Oeste da Bahia (18641263000145), em 24/08/2023 10:29:55.
- Alexandre Carvalho Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 24/08/2023 10:16:17.
- Clarice Aparecida Megguer, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 24/08/2023 10:12:29.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 23/08/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 524534  
Código de Autenticação: 90be1b7acd



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Morrinhos

Rodovia BR-153, Km 633, Zona Rural, SN, Zona Rural, MORRINHOS / GO, CEP 75650-000

(64) 3413-7900

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por nos permitir sonhar, acreditar e realizar projetos.

Ao professor Túlio Machado, pelo incentivo e apoio inicial para que eu pudesse ingressar no programa.

Ao meu esposo, pela compreensão e palavras encorajadoras a mim oferecidas.

À professora Clarice Aparecida Megguer, por ter me aceitado como sua orientada, possibilitando trabalhar ao seu lado durante a realização deste projeto.

Ao professor Alexandre Carvalho Silva, pela parceria e paciência dispensada a mim durante o desenvolvimento do produto.

Ao Athos Ferreira Duarte, aluno da T.I., que desenvolveu o software com dedicação e zelo.

Aos meus filhos Gustavo e Bárbara, que me auxiliaram nos momentos que precisei.

As minhas amigas Fernanda e Lili, que me deram forças quando fiquei desanimada.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, por me proporcionar a oportunidade de realizar mais um sonho e enriquecer meus conhecimentos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Olericultura, pela paciência e dedicação.

Aos colegas de laboratório de Fisiologia pós-colheita, em especial, Rafaela, Maria Beatriz, Wallace Daniel e a Quézia Mutaguti, pela ajuda e paciência que dispensaram a mim.

Agradeço a todos que de uma forma ou de outra contribuíram em algum momento para conclusão deste trabalho.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

Luciana Eduardo de Souza Ferreira, filha de Josefa Ferreira de Souza (*in memoriam*) e Antônio Ribeiro de Souza. Nasceu no dia 22 do mês de agosto de 1975, em Morrinhos – Goiás. Graduada com Licenciatura em Ciências - Habilitação em Biologia pela Universidade Estadual de Goiás no ano de 2004. Pós-graduada em Biologia Vegetal pela Universidade Estadual de Goiás (Goiânia – Esefego) no ano de 2006 e Licenciada em Química pelo Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos no ano de 2014. Ingressou no Programa de Pós-Graduação em Olericultura no Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos no ano de 2021 como aluno especial e, no ano de 2022, como aluno regular com conclusão em 2023.

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Retirada de uma pequena porção da epiderme do fruto para medição de firmeza.	7
<b>Figura 2.</b> Medição da firmeza de tomates com o emprego de um penetrômetro.	8
<b>Figura 3.</b> Penetrômetro a gás desenvolvido pela Embrapa Hortaliças.	9
<b>Figura 4.</b> Aplanador usado para medição de firmeza dependente do turgor celular.	9
<b>Figura 5.</b> Fruto colocado na mesa de prova do equipamento.	10
<b>Figura 6.</b> Medição da figura elipsoide formada na placa de vidro do aplanador.	10
<b>CAPÍTULO I:</b> .....	22
AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMA PARA DETERMINAÇÃO DE FIRMEZA EM FRUTOS DE TOMATES ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) .....	
	22
<b>Figura 1.</b> Classificação dos frutos: lote 1 - frutos verdes; lote 2 – frutos laranjas, lote 3 – frutos vermelhos em Morrinhos-Go. Fonte: Luciana Eduardo de Souza Ferreira (2023).	28
<b>Figura 2.</b> Imagem da primeira etapa da utilização do software, em Morrinhos-Go. Fonte: Luciana Eduardo de Souza Ferreira (2023).	29
<b>Figura 3.</b> Imagem da área útil selecionada, em Morrinhos-Go. Fonte: Luciana Eduardo de Souza Ferreira (2023).	30
<b>Figura 4.</b> Imagem aproximada do tomate, em Morrinhos-Go. Fonte: Luciana Eduardo de Souza Ferreira (2023).	28
<b>Figura 5.</b> Imagem da área deformada, em Morrinhos-Go. Fonte: Luciana Eduardo de Souza Ferreira (2023).	31
<b>Figura 6.</b> Imagem da área sendo calculada, em Morrinhos-Go. Fonte: Luciana Eduardo de Souza Ferreira (2023).	32
<b>Figura 7.</b> Resultado da Firmeza, em Morrinhos-Go. Fonte: Luciana Eduardo de Souza Ferreira (2023).	32
<b>Figura 8.</b> Firmeza de fruto maduro de tomate segundo método de aplanção manual e software desenvolvido (FERREIRA, L. E. S.).	33
<b>Figura 9.</b> Firmeza de fruto laranja de tomate segundo método de aplanção manual e software desenvolvido (FERREIRA, L. E. S.).	34
<b>Figura 10.</b> Firmeza de fruto verde de tomate segundo método de aplanção manual e software desenvolvido (FERREIRA, L. E. S.).	34

**Figura 11.** Determinação da firmeza de frutos de tomate obtido por meio do aplanador e software. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). 36

## LISTA DE TABELAS

	Página
<b>Tabela 1.</b> Principais técnicas não destrutivas utilizadas para a avaliação de características de qualidade em frutas.	12
<b>CAPÍTULO I:</b> .....	22
AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMA PARA DETERMINAÇÃO DE FIRMEZA EM FRUTOS DE TOMATES ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) .....	22
<b>Tabela 1.</b> Análise de desvio padrão	35
<b>Tabela 2.</b> Coeficiente de correlação entre o método de aplanação e o software desenvolvido.	36

# ÍNDICE

	<b>Página</b>
1 INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 A cultura do tomate .....	3
2.2 A firmeza na pós-colheita .....	4
2.3 Metodologias para a determinação da firmeza.....	5
2.3.1 Método do penetrômetro .....	5
2.3.2 Penetrômetro a gás .....	6
2.3.3 Método do aplanador.....	7
2.4 Tecnologias para mensuração não destrutivas .....	10
2.4.1 Métodos mecânicos .....	11
2.4.2 Métodos ópticos .....	12
2.4.3 Método Eletromagnético .....	13
2.4.4 Métodos Dinâmicos .....	14
CAPÍTULO I.....	20
AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMA PARA DETERMINAÇÃO DE FIRMEZA EM FRUTOS DE TOMATES ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	20
1 INTRODUÇÃO .....	23
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	24
2.1 Local do desenvolvimento do software.....	24
2.2 Desenvolvimento do software.....	24
2.3 Etapas do desenvolvimento do software .....	25
2.4 Material para validação do software .....	25
2.5 Metodologia para validar o software.....	26

3. ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
5. CONCLUSÃO .....	34
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

## RESUMO

FERREIRA, LUCIANA EDUARDO DE SOUZA. Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, agosto de 2023. **Automatização de sistema para determinação de firmeza de hortaliças fruto.** Orientadora: Clarice Aparecida Megguer.

Dentre as hortaliças, o tomate é considerado a espécie mais importante tanto do ponto de vista comercial como social, sendo cultivada em todo o mundo. A firmeza de polpa é uma característica importante durante o transporte e armazenamento de frutas e hortaliças. No presente estudo, frutos de tomate foram utilizados como modelo para validar a criação do software desenvolvido na pesquisa, que automatiza análises físicas realizadas por operadores humanos de forma analógica, tornando-o prático. Este projeto foi desenvolvido pelo Núcleo de Pesquisas em Processamento Gráfico e Interação Natural sediado no IFGoiano campus Morrinhos em parceria com a pós-graduação em Olericultura para determinação da firmeza de frutos de forma digital. Na fase inicial do estudo, foram utilizados 240 frutos de tomate de mesa para determinação da firmeza de polpa. Os frutos foram separados em três lotes quanto à coloração da epiderme: lote 1 - frutos verdes; lote 2 - frutos laranjas; lote 3 - frutos vermelhos. Cada lote foi constituído de 80 frutos. Para efeito de validação do software, frutos recém-colhidos foram quantificados quanto a firmeza de polpa pelo método de aplanção. Em seguida foram submetidos ao método desenvolvido na presente pesquisa que utiliza a plataforma Desktop com webcam comum, a programação Python e software com ciclo de três etapas: entrada, processamento e saída dos resultados. O aplicativo FruitFirmness possui alta confiabilidade, de aproximadamente 85%. O aplicativo desenvolvido neste projeto, melhora significativamente o processo de determinação da firmeza, tornando-o prático, rápido, fácil e mantendo o baixo custo. O software pode ser melhorado tornando-o independente do aparelho celular, utilizando uma câmera fotográfica, desenvolvendo um sistema para que os dados sejam armazenados em planilha tornando-o mais prático. O software FruitFirmness já pode ser utilizado a campo pelo produtor.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum* L.; análise pós-colheita; método não destrutivo; aplanador.

## ABSTRACT

FERREIRA, LUCIANA EDUARDO DE SOUZA. Goiano Federal Institute - Morrinhos Campus, august 2023. **System automation for determination of fruit and vegetable firmness.** Advisor: Clarice Aparecida Megguer.

Among vegetables, tomato is considered the most important species from a commercial and social point of view, being cultivated all over the world. Flesh firmness is an important characteristic during transport and storage of fruits and vegetables. In the present study, tomato fruits were used as a model to validate the creation of on software developed in the research, which automates physical analyzes performed by human operators in an analogical way. This project was developed by the Information Technology System of the IF Goiano in partnership with the postgraduate course in Olericulture to determine fruit firmness digitally. In the initial phase of the study, 240 tomato fruits were used to determine pulp firmness. The fruits were separated into three lots according to their epidermis color: lot 1 - unripe fruits; batch 2 - orange fruits; batch 3 - red fruits. Each batch consisted of 80 fruits. For software validation purposes, freshly harvested fruits were quantified in terms of pulp firmness using the flattening method. Then they were submitted to the method developed in the present research that uses the Desktop platform with a common webcam, Python programming and software with a three-step cycle: input, processing and output of results. The FruitFirmness app has a high reliability of approximately 85%. The application developed in this project significantly improves the firmness determination process, making it practical, fast, easy and keeping the cost low. The software can be improved by becoming independent of the cell phone, using a camera, also, developing a system for data to be stored in a spreadsheet, becoming even more practical. The FruitFirmness software can now be used in the field by the producer.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum* L.; post-harvest analysis; non-destructive method; planer

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.), originário da região andina, alcançou em 2019 a marca de 180,7 milhões de toneladas produzidas no mundo, sendo a China a líder do ranking com 59,51 milhões de toneladas produzidas (FAOSTAT, 2019). É a segunda hortaliça mais consumida no mundo, perdendo apenas para a batata, e o Brasil figura como o maior produtor e consumidor de tomate para processamento industrial da América Latina, sendo o 8º maior produtor mundial em 2020 (WPTC, 2020).

A cultura de tomate para processamento industrial, que pode ser consumido também como tomate de mesa, tem grande importância no município de Morrinhos – Goiás. Cultivam-se entre 800 e 1000 ha, além de abrigar duas grandes empresas de processamento do tomate, gerando emprego, praticamente, em toda sua cadeia produtiva. Além disso, é rentável aos produtores, a remuneração é superior aos outros cultivos intercalados, porém de alto risco (ASSUNÇÃO *et al.*, 2013).

O tomate é considerado um alimento versátil e saudável, por ser um fruto perecível a curto prazo com durabilidade média, em temperatura ambiente de cinco a dez dias e com período de produção agrícola limitado, o consumo mais frequente é realizado na forma de produtos processados. Portanto, uma quantidade significativa da produção é destinada ao processamento de produtos, como: suco de tomate, concentrados e polpas, molhos prontos, tomates pelados enlatados, purês, ketchup e sopas (KOH *et al.*, 2012).

De acordo com a Embrapa (2006), o autor enfatiza que a firmeza é uma das principais variáveis estudadas na pós-colheita de tomates. Existem metodologias para a avaliação da firmeza que são classificadas como destrutivas ou não destrutivas. O método

do aplanador é considerado não destrutivo, e a mensuração dos seus valores é realizada de forma analógica e os valores adquiridos são, posteriormente, utilizados em equações para determinação da firmeza.

Objetivou-se com esta pesquisa criar um sistema digital para determinação da firmeza de frutos, atualmente, realizado em laboratório de forma analógica, desenvolvendo um software para digitalizar o método aplanador, adequando a técnica tornando-a mais eficiente para atender a demanda dos produtores da região.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A cultura do tomate

O tomate (*Solanum lycopersicon* L.) pertence à família Solanaceae, originário da região Andina, que tem início no Equador, Colômbia, Peru, Bolívia, até o Norte do Chile. A família engloba cerca de 90 gêneros e 1750 espécies (BOITEUX *et al.*, 2012).

Em 1914, no município de Pesqueira em Pernambuco, iniciou-se o cultivo de tomate para processamento no Brasil. Em Goiás, no início dos anos 1990, encontraram condições ideais ao cultivo, que propiciou o crescimento do setor, suprindo às demandas das indústrias de alimentos dessa região e obtendo novos investimentos nessa cadeia produtiva (SILVA JUNIOR *et al.*, 2015). No quesito produtividade, corresponde, aproximadamente, a 1,02 milhões de toneladas, destacando os três municípios que mais produzem: Cristalina (355 mil toneladas), Meia Ponte (352 mil toneladas) e Morrinhos (185 mil toneladas) (IBGE, 2023).

O tomate é uma planta perene, arbustivo, de cultivo anual e desenvolve-se de forma rasteira, semiereta ou ereta. O crescimento pode ser determinado, caracterizado pela ausência de dominância apical em que cada ramificação tem um ramo floral apical, que limita seu desenvolvimento vegetativo, característico de cultivares rasteiras cujos frutos são destinados para a agroindústria (ALVARENGA, 2013).

O tipo de crescimento indeterminado, ocorre na maioria das cultivares para a produção de frutos de mesa, o ramo principal cresce mais do que as ramificações laterais apresentando dominância apical e, então, as plantas são conduzidas de forma tutorada e podadas quando necessário, já o caule pode chegar a 10 m em um ano (ALVARENGA, 2013).

O fruto constitui-se de água (entre 93 e 95%), baixo poder calórico, baixo teor de matéria seca e é fonte de vitaminas A e C, sais minerais como potássio, cálcio e magnésio (ALVARENGA, 2013).

No Estado de Goiás, o transplântio inicia em fevereiro e estende-se até junho de cada ano. Em relação às exigências climáticas, no geral, é que haja gradiente de temperatura entre o dia e a noite, diurnas de 20 a 25°C e noturnas de 13 a 18°C, disponibilidade de água no solo e umidade relativa do ar variando entre 50 a 70% para o bom desenvolvimento da planta e produção de frutos. O fotoperíodo no tomateiro é indiferente, no entanto, a baixa intensidade luminosa pode reduzir a produtividade (ALVARENGA; COELHO, 2013).

A maior parte das cultivares listadas nos catálogos das empresas apresentam ciclo variando de 90 a 120 dias após o transplante. Todavia, este fator é influenciado pelas condições climáticas, fertilidade do solo, intensidade de irrigação, ataque de pragas e época de plantio (VILELA *et al.*, 2012).

Na indústria de processamento de tomate, alguns atributos para a manutenção da qualidade, como: a coloração, firmeza, consistência e o teor de sólidos solúveis são de maior importância para garantir um produto nos padrões desejados (AYVAZ *et al.*, 2016).

## 2.2 A firmeza na pós-colheita

Maturação ou maturidade fisiológica é aquele estágio em que o fruto tenha completado seu desenvolvimento natural, ou seja, ele pode ser colhido e após a colheita sua qualidade será pelo menos mínima aceitável para o consumidor final (REID, 2002). Já o processo de amadurecimento inclui características como mudança na textura e na cor, processo de abscisão, alterações químicas e mudanças fisiológicas do fruto, incluindo padrões de respiração e produção de etileno nos frutos climatéricos (TAIZ *et al.*, 2017).

A firmeza é indicador crucial da maturação dos frutos (MIJIN *et al.*, 2021). O fruto ao amadurecer torna-se mais macio por causa de reações químicas que ocorrem no

seu interior, transformando açúcares, que fazem parte da estrutura da parede celular, como a celulose, hemicelulose e pectina, em substâncias menos rígidas (MA *et al.*, 2017). A durabilidade dos frutos na pós-colheita depende em grande parte da firmeza da polpa destes, sendo esse fator de extrema relevância (GIONGO *et al.*, 2013).

O fruto considerado danificado é sujeito à deformação e ao rompimento da epiderme, com liberação do suco celular, ocorrendo fermentação, deterioração e, conseqüentemente, perda de qualidade do produto, no caso do tomate para processamento, perda de rendimento industrial (SOARES; RANGEL, 2012).

### 2.3 Metodologias para a determinação da firmeza

A determinação da firmeza é realizada com o emprego de equipamentos como o penetrômetro (destrutivo) ou o aplanador (não destrutivo) (MORETTI, 2006).

#### 2.3.1 Método do penetrômetro

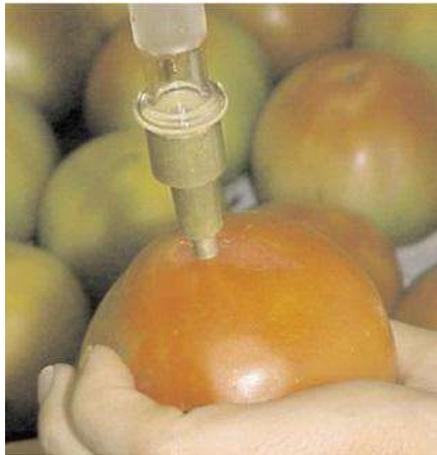
O penetrômetro possui uma ponta de prova que é pressionada contra a superfície do fruto. No momento em que a superfície do fruto é perfurada pela ponta de prova, o registrador marca a força que foi utilizada, que é proporcional à firmeza do fruto. A ponta de prova utilizada para a avaliação da firmeza em tomates é a de 5 mm de diâmetro (MORETTI, 2006).

O procedimento deve ser realizado na região equatorial do fruto. E, com o auxílio de uma faca, retira-se uma área de 1 cm<sup>2</sup> da película (epiderme) superficial do fruto (Figura 1).



**Figura 1.** Retirada de uma pequena porção da epiderme do fruto para medição de firmeza. Fonte: Moretti (2006).

Posteriormente, encosta-se o penetrômetro perpendicularmente ao fruto e o pressiona até que o pericarpo seja perfurado (Figura 2). Realiza-se a leitura diretamente no equipamento. As unidades mais empregadas para exprimir a leitura feita são kgf, N ou Lbf.



**Figura 2.** Medição da firmeza de tomates com o emprego de um penetrômetro. Fonte: Moretti (2006).

### 2.3.2 Penetrômetro a gás

Esse equipamento elimina o inconveniente da fadiga das molas dos penetrômetros tradicionais. Tais dispositivos, com o passar do tempo, apresentam

problemas em seu funcionamento, podendo ocasionar erros de leitura. Além disso, é de baixo custo, permitindo a aquisição por qualquer laboratório para que possa avaliar a firmeza de frutos, frutas ou hortaliças. A forma de utilização do penetrômetro a gás é idêntico ao penetrômetro convencional (Figura 3), (MORETTI, 2006).



**Figura 3.** Penetrômetro a gás desenvolvido pela Embrapa Hortaliças. Fonte: Moretti (2006).

### 2.3.3 Método do aplanador

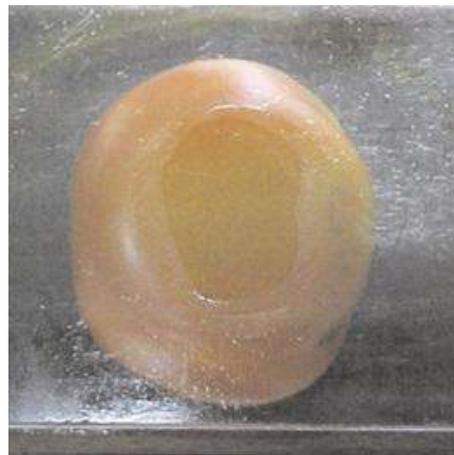
A técnica de aplanção foi desenvolvida nos anos 1980 pelos pesquisadores Bernstein e Lustig (1981 & 1985) utilizando como modelo frutos de bagas de uva. Tais frutos foram imaginados como um balão de parede fina com uma pressão hidrostática, de turgescência, em seu interior. Diversos trabalhos têm utilizado esta técnica para a medição de firmeza em hortaliças (CALBO *et al.*, 1995).

O aplanador mensura a firmeza dependente da pressão de turgescência das células, que é a firmeza que o consumidor percebe quando pressiona uma hortaliça entre seus dedos. Para a medição pelo método de aplanção, o fruto é colocado sobre a mesa de prova do equipamento (Figura 4). Abaixa-se, então, a placa de vidro do equipamento até que ela repouse sobre a superfície do fruto (MORETTI, 2006).



**Figura 4.** Aplanador usado para medição de firmeza dependente do turgor celular. Fonte: Moretti (2006).

Na parte superior da placa de vidro a área amassada do fruto forma um elipsoide (Figura 5).



Fonte: Moretti (2006)

**Figura 5.** Fruto colocado na mesa de prova do equipamento.

O operador deve então medir, com um paquímetro ou uma régua, os dois comprimentos (maior e menor) (Figura 6) e calcular a área da figura elipsoide de acordo com a Equação (1):



Fonte: Moretti (2006).

$$A = 0,784 * C_{\text{maior}} * C_{\text{menor}}$$

(1)

em que:

A = área, cm<sup>2</sup>;

C<sub>maior</sub> = comprimento maior, cm; e

C<sub>menor</sub> = comprimento menor, cm.

A firmeza (F) é medida, dividindo-se o peso da placa de vidro (Força, em kgf) pela área aplanada (deformada) na superfície superior do órgão, em cm<sup>2</sup>. A firmeza possui unidade de pressão e pode ser apresentada em kgf.cm<sup>-2</sup> de acordo com a Equação 2.

$$F = P/A$$

(2)

em que:

F = firmeza, kgf . cm<sup>2</sup>;

P = peso da placa de vidro, kgf; e

A = área deformada na superfície do órgão, cm<sup>2</sup>.

A visualização da área aplanada sob a placa de vidro é usualmente fácil. No entanto, em alguns casos, pode ser necessária a aplicação de delgada camada de óleo mineral (de baixa viscosidade). Esta aplicação é feita com toalha de papel levemente impregnada de óleo amassamento (CALBO, 2014).

## 2.4 Tecnologias para mensuração não destrutivas

Diversas tecnologias não destrutivas para avaliar a qualidade, interna e externa, dos frutos foram desenvolvidas nos últimos anos, permitindo, desde a fase de campo até a comercialização, mensurar parâmetros qualitativos como: coloração, teor de sólidos solúveis, firmeza, acidez, entre outros (BETEMPS; RAMOS, 2021). Entre os métodos mais relatados e estudados estão os mecânicos, eletromagnéticos e dinâmicos (Tabela 1), inseridos em equipamentos, sensores e em máquinas classificadoras (LAKSHMI *et al.*, 2017).

**Tabela 1.** Principais técnicas não destrutivas utilizadas para a avaliação de características de qualidade em frutas.

Método	Técnica	Característica de qualidade avaliada
Mecânico	Teste de impacto	Firmeza e dano interno
	Nariz eletrônico	Maturação
Óptico	Análise de imagens	Tamanho, forma, cor, defeitos externos
	Absorbância, reflectância e transmitância da espectroscopia do visível (VIS)/infravermelho próximo – <i>Near infrared</i> (NIR)	Cor, constituintes químicos (açúcares e ácidos), defeitos internos, conteúdo de pigmentos
	Espectroscopia da fluorescência	Maturação, defeitos superficiais, conteúdo de clorofilas
	Vibração	Firmeza, viscoelasticidade, maturação
Eletromagnético	Ressonância magnética nuclear	Distúrbios ocasionados pelo frio, presença de insetos, caroços e podridões

Dinâmico	Raio-X	Maturação, defeitos internos, danos por congelamento, presença de caroços, partículas estranhas e parasitas
	Ondas ultrassônicas	Densidade, teor de umidade e firmeza
	Impulsos acústicos	Firmeza, detecção de defeitos internos

Fonte: BETEMPS; RAMOS, 2021, adaptado de LAKSHIMI *et al.* (2017).

Dos métodos descritos na tabela acima, destaca-se aqueles que estão relacionados a determinação da firmeza: Método Mecânico (Teste de impacto e Nariz eletrônico); Método Óptico (Análise de imagens, Espectroscopia do VIS/NIR), Método Eletromagnético (Ressonância Magnética Nuclear); Método Dinâmico (Raios X, Ondas ultrassônicas e impulsos acústicos).

#### 2.4.1 Métodos mecânicos

As tecnologias mecânicas não destrutivas relacionadas a textura das frutas, como firmeza e elasticidade, baseiam-se na pressão de turgor e perda de água, sendo métodos que usam testes de baixo impacto e são detectados por acelerômetros, os quais medem aceleração ou detectam vibrações, ou por frequência de ressonância, também chamada frequência natural vinda da vibração livre de um corpo. O método de identificação consiste em impactar a fruta e excitar sua frequência de ressonância, detectada por um microfone que sofre mudanças com o amadurecimento (SHEEJA; GOKUL, 2016).

Outro método são os narizes eletrônicos, objetivando simular o sistema olfativo, baseados em uma matriz de sensores químicos e eletrônicos, além de um sistema de reconhecimento de padrões associado à inteligência artificial, software com algoritmos e uma base de dados, com referências para reconhecer esses padrões (WILSON; BAIETTO, 2009).

Limita-se por não analisar e determinar os diferentes compostos voláteis, como um cromatógrafo de gás. Por outro lado, é útil para detectar desvios de um padrão, desde que a impressão digital é bem conhecida ou para acompanhar mudanças que ocorrem em um lote ao longo do tempo (SHEEA; GOKUL, 2016).

#### 2.4.2 Métodos ópticos

As tecnologias ópticas estão relacionadas a resposta de uma matéria a luz e baseiam-se na refletância, transmitância, absorbância, fluorescência ou dispersão de luz. Segundo Lakshmi et al. (2017), estes métodos incluem:

##### 2.4.2.1 Análise de imagem

Controle de qualidade das frutas por meio de imagens digitais, utilizadas para mensurar o tamanho, a forma, a coloração, a presença de defeitos, entre outros. Consiste em cinco componentes básicos: iluminação, câmera, placa de captura de imagem (digitalizador), dispositivos computacionais de hardware e programas computacionais. Assim, interpretam uma imagem de uma cena real automaticamente (SALDAÑA et al., 2013);

##### 2.4.2.2 Espectroscopia do visível/infravermelho próximo

Baseia-se no estudo da radiação absorvida, refletida, emitida ou espalhada por uma substância. As principais faixas de espectro que são utilizadas na avaliação da qualidade interna das frutas estão localizadas na banda do espectro da luz VIS (400 – 700 nm) e do NIR (700 -2500 nm). A vantagem da espectroscopia NIR é que esta alcança as camadas mais profundas, podendo ser aplicada diretamente à amostra sem qualquer preparação desta (SRIVASTAVA; SADISTAP, 2018).

A radiação incidente pode ser refletida, absorvida ou transmitida e a resposta de cada fenômeno depende da constituição química e dos parâmetros físicos da amostra (NICOLAI *et al.*, 2007).

Cada molécula tem seu próprio espectro de absorção específico, que conduz a uma complexidade dos espectros, portanto, técnicas quimiométricas avançadas são necessárias para extrair informações específicas. Assim, dentre essas técnicas destacam-se a Análise de Componentes Principais – Principal Component Analysis (PCA) e a técnica dos Mínimos Quadrados Parciais – Partial Least Squares (PLS) (PEIRS *et al.*, 2003).

Normalmente, o procedimento é obter uma série de amostras de calibração e avaliar os dados espectrais, juntamente com as características qualitativas de interesse determinada por um método referencial, geralmente, destrutível. As limitações da espectroscopia VIS/NIR, na análise de frutas, são: incapacidade de o modelo de um instrumento ser diretamente utilizado em outro, mesmo entre aparelhos do mesmo tipo, dependência dos métodos quimiométricos e custo elevado dos equipamentos (ALAMAR *et al.*, 2007).

Vários estudos são relatados na literatura utilizando sensores portáteis para avaliação qualitativa em frutas, destaca-se um comparativo entre refletância e transmitância da espectroscopia VIS/NIR utilizado em frutas de romã, ambos os modos. Foi possível desenvolver um sistema de determinação de características internas da fruta, entretanto, os espectros do modo de refletância forneceram avaliação mais precisa de SS, pH e firmeza (KHODABAKHSHIAN *et al.*, 2019).

#### 2.4.3 Método Eletromagnético

##### 2.4.3.1 Ressonância magnética nuclear (RMN):

A tecnologia RMN utiliza as propriedades magnéticas dos núcleos atômicos das substâncias para investigar suas características físicas e químicas. Assim, determina estruturas de compostos orgânicos e inorgânicos, quantifica e mede a difusividade da água em sistemas heterogêneos, como alimentos e outros sistemas biológicos, e gera imagens tomográficas de maneira não destrutiva e não invasiva atuando em diferentes áreas (CLARK *et al.*, 1997). Ravazi *et al.* (2018) usaram a técnica para identificar peras

danificadas pelo impacto mecânico e compressão, ao longo do processo de armazenamento.

#### 2.4.4 Métodos Dinâmicos

##### 2.4.4.1 Raios X

Maturação, presença de danos internos provenientes de congelamento, escurecimento interno, presença de caroços, partículas estranhas e insetos podem ser identificados por essa técnica que se situa entre os raios gama e raios UVs, em um comprimento de onda no intervalo de 0,01 – 10 nm (LAKSHMI *et al.*, 2017).

Pela profundidade alcançada, imagens de raios X examinaram cavidades internas provenientes de presença de insetos em maçã, pera, pêssego, tomate cereja e laranja (YANG *et al.*, 2006). Defeitos internos em maçãs, como “Pingo de Mel”, escurecimento interno, qualquer alteração na densidade do tecido decorrentes do acúmulo ou dissipação da água, presença de vazios internos foram detectados por Lu; Lu (2017) com essa técnica.

##### 2.4.4.2 Ondas Ultrassônicas

Método de análise de frutas e vegetais usando ultrassom que correlaciona a firmeza e é usado para monitorar a maturidade da fruta. O princípio envolve a transmissão de energia em frutas e avaliação da energia de resposta (LAKSHMI *et al.*, 2017). Morrison; Abeyratne (2014) estudaram com sucesso a densidade, teor de umidade e firmeza de ondas ultrassônicas de laranjas.

##### 2.4.4.3 Impulsos acústicos - Técnica de excitação por onda de choque LIP

É um método de resposta ao impulso acústico, utilizado para analisar a textura de frutas (MURAMATSU *et al.*, 1997). A técnica de frequência de ressonância de impulso acústico (AIF) usa as frequências naturais da fruta intacta obtidas pela gravação do som

e o que é produzido ao bater na fruta, ou seja, a resposta ao impacto produzida pela fruta na aplicação da força é calculada e é usada para avaliar a qualidade interna, assim como, a maturidade das frutas (KHALIFA *et al.*, 2011).

Os resultados dependem de várias características, como formato da fruta, ângulo de impacto, variações na localização da fruta. Afirma-se que os resultados são afetados principalmente pelo teor de água da fruta (ZERBINI, 2006).

## 2.5 Referências bibliográficas

ALAMAR, M. C., BOBELYN, E., LAMMERTYN, J., NICOLAÏ, B. M., & MOLTÓ, E. Calibration transfer between NIR diode array and FT-NIR spectrophotometers for measuring the soluble solids contents of apple. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.45, n.1, p.38-45, July 2007.

ALVARENGA, M. A. R. Origem, Botânica e Descrição da planta. In: ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: Produção em Campo, Casa de Vegetação e Hidroponia**. 2. ed. Editora Universitária de Lavras, cap. 1, p. 13-21, Lavras – MG, 2013.

ALVARENGA, M. A. R.; COELHO, F. S. Valor Nutricional. In: ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: Produção em Campo, Casa de Vegetação e Hidroponia**. 2. ed. Editora Universitária de Lavras, cap. 2, p. 25-29, Lavras – MG, 2013.

ASSUNÇÃO, P. E. V.; SPINELLI, E. M. A.; CARDOSO, J. S. Caracterização da Produção de Tomate-Industrial no Município de Morrinhos/GO: da utilização de defensivos à vantagem dos contratos. **Teoria e Evidência Econômica – Ano 19**, n. 40, p.153-168, jan. /jun. 2013.

AYVAZ, H.; SIERRA-CADAVID, A.; AYKAS, D.P.; MULQUEENEY, B.; SULLIVAN, S.; RODRIGUEZ-SAONA, L.E. Monitoring multicomponent quality traits in tomato juice using portable mid-infrared (MIR) spectroscopy and multivariate analysis. **Food Control**, v. 66, p.79-86, 2016.

BETEMPS, D.L.; RAMOS, R.F. Avaliações não destrutivas em pós-colheita. **Informe Agropecuário**. Pós-colheita, v.42, n.314, p.01-07, 2021.

BOITEUX, L. S.; FONSECA, M. E. N.; GIORDANO, L. B.; MELO, P. C. T. Melhoramento genético. In: CLEMENTE F. M. V. T.; BOITEUX L. S. (eds). **Produção de tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa. p. 31-50, 2012.

CALBO, A.G. Sensores para medir firmeza e hidratação vegetal desenvolvidos na **Embrapa**. **Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico (ALICE)**, Brasília – DF, p.283-303, 2014.

CALBO, A.G.; NERY, A.A. Medida de firmeza de hortaliças pela técnica de aplanção. **Horticultura Brasileira**, v .13, n.1, p.14-18, 1995.

CLARK, C.J. et al. Application of magnetic resonance imaging to pre- and post-harvest studies of fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.11, n.1, p.1-21, May 1997.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Área colhida, produtividade e produção nos principais países produtores de tomate**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en>> Acesso em: 16 jan.2023.

GIONGO, L.; PONCETTA, P.; LORETTI, P.; COSTA, F. Texture profiling of blueberries (*Vaccinium* spp.) during fruit development, ripening and storage. **Postharvest Biology and Technology**, v.76, p.34-39, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html>. Acesso em: 20 abril, 2023.

KHALIFA, S.; KOMARIZADEH, M.H.; TOUSI, B. Usage of fruit response to both force and forced vibration Applied to assess fruit firmness- a review. **Australian Journal of Crop Science** , v. 5, n. 5, pág. 516-522, 2011.

KHODABAKHSHIAN, R. et al. A comparative study of reflectance and transmittance modes of Vis/NIR spectroscopy used in determining internal quality attributes in

pomegranate fruits. **Journal of Food Measurement and Characterization**, Columbia, v.13, p.3130-3139, Aug. 2019.

KOH, E.; CHAROENPRASERT, S.; MITCHELL, A.E. Effects of industrial tomato paste processing on ascorbic acid, flavonoids and carotenoids and their stability over one-year storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.92, n.1, p.23-28, 2012.

LAKSHMI, S.; PANDEY, A.K.; RAVI, N.; CHAUHAN, O.P.; GOPALAN, N.; SHARMA, R.K. Non-destructive quality monitoring of fresh fruits and vegetables. **Defence Life Science Journal**, v.2, n.2, p.103-110, 2017.

LU, Y.; LU, R. Non-destructive defect detection of apples by spectroscopic and imaging technologies: a review. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St. Joseph, v.60, n.5, p.1765-1790, 2017.

MA, L.; ZHANG, M.; BHANDARI, B.; GAO, Z. Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. **Trends Food Science and Technology**, v.64, p.23-38, 2017.

MIJIN, S., DING, P., SAARI, N. & RAMLEE, S. I. (2021). Effects of pollination techniques and harvesting stage on the physico-chemical characteristics of jackfruit. **Scientia Horticulturae**, v. 285, p. 110-199, 2021.

MORETTI, C. L. Protocolos de avaliação da qualidade química e física de tomate. **Embrapa Hortaliças-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 1ª edição, Brasília – DF.; Editoração eletrônica: José Miguel dos Santos; 13p, 2006.

MORRISON, D.S.; ABEYRATNE, U.R. Ultrasonic technique for non-destructive quality evaluation of oranges. **Journal of Food Engineering**, v. 141, p. 107-112, 2014.

MURAMATSU, N.; SAKURAI, N.; YAMAMOTO, R.; NEVIS, D.J.; TAKAHARA, T.; OGATA, T. Comparison of a nondestructive acoustic method for firmness measurement of kiwifruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 12, n. 3, pág. 221-228, 1997.

NICOLAI, B.M; DEFRAYE, T.; KETELAERE, B.; HERREMANS, E.; HERTOOG, M.L. Non destructive measurement of fruit and vegetable quality. **Annual review of food science and technology**. v.5, p.285-312. 2014.

NICOLAI, B.M. et al. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: a review. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.46, n.2, p.99-118, Nov. 2007.

PEIRS. A. et al. Effect of biological variability on the robustness of NIR models for soluble solids content of apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, n.28, n.2, p.269-280, May 2003.

RAZAVI, M.S. et al. Analyzing the pear bruised volume after static loading by magnetic resonance imaging (MRI). **Scientia Horticulturae, Netherlands**, v.229, p.33-39, Feb. 2018.

REID, M. S. Ethylene in Postharvest Technology. In: KADER, A. A. Postharvest Technology of Horticultural Crops.Third Edition.University of California – **Agriculture and Natural Resources, Publication**, v. 3311, p. 149-162, 2002.

SALDAÑA, E. et al. Review: computer vision applied to the inspection and quality control of fruits and vegetables. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v.16, n.4, p.254-272, Oct./Dec. 2013.

SHEEJA, P.S.; GOKUL, A.J.A. Nondestructive quality evaluation for fruits and vegetables. **International Journal of Modern Trends in Engineering and Reserch**, Chhattisgarh, v.3, n.8, Aug. 2016.

SILVA JUNIOR, A.R; RIBEIRO, W.M; NASCIMENTO, A.R; SOUZA, C.B. Cultivo de tomate industrial no Estado de Goiás: Evolução das áreas de plantio e produção. **Conjuntura econômica Goiana**. Setembro, n.34, p. 97 -110, 2015.

SOARES, B.B.; RANGEL, R. Aspectos Industriais da Cultura. In: CLEMENTE F. M. V. T.; BOITEUX L. S. (eds). **Produção de tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa. p. 331-344, 2012.

SRIVASTAVA, S.; SADISTAP, S. Non-destructive sensing methods for quality assessment of on-tree fruits: a review. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v.12, n.1, p.497-526, Mar. 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ª Edição. Editora Artmed - Porto Alegre-RS, 858 p., 2017.

VILELA, N.J.; MELO, P.C.T; BOITEUX, L.S; CLEMENTE, F.M.V.T. **Produção de Tomate para Processamento Industrial**. Embrapa, Brasília DF, v. 70, Cap.1, p.17-27, 2012.

WILSON, A.D.; BAIETTO, M. Applications and advances in electronic-nose technologies. **Sensors**, v.9, n.7, p.5099-5148, July. 2009.

WPTC - World Processing Tomato Council. **World production estimate as of 11 March 2020**. Avignon, France. Disponível em:  
<https://www.wptc.to/pdf/releases/WPTC%20crop%20update%20as%20of%2011%20March%202020.pdf>. Acesso em: 16 abril 2023.

YANG, E. et al. Non-destructive quarantine technique: potential application of using X-ray images to detect early infestations caused by oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis*) (Diptera: Tephritidae) in fruit. **Formosan Entomologist**, Taiwan, v.26, p.171-186, 2006.

ZERBINI, P.E. Emerging technologies for Non-destructive quality evaluation of fruit. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, v.14, pag.13-23, 2006.

## CAPÍTULO I

### **AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMA PARA DETERMINAÇÃO DE FIRMEZA EM FRUTOS DE TOMATES (*Solanum lycopersicum* L.)**

#### **RESUMO**

FERREIRA, LUCIANA EDUARDO DE SOUZA. Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, agosto de 2023. **Automatização de sistema para determinação de firmeza em frutos de tomates.** Orientadora: Clarice Aparecida Megguer.

A qualidade externa dos frutos de tomates é importante tanto para os consumidores, quanto para as indústrias processadoras que utilizam outras características relevantes, como coloração, firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável, entre outros para o consumo e produção. O método do aplanador que mensura a firmeza em hortaliças é ainda, um dos mais utilizados, no entanto, não é um método

prático e rápido. Objetivou-se com o presente estudo automatizar a determinação de firmeza pelo método de aplanção, tornando-o digital. Previamente a construção do software, várias análises de firmeza foram realizadas com a finalidade de coletar imagens, que foram fornecidas ao Núcleo de Pesquisas em Processamento Gráfico e Interação Natural sediado no IFGoiano campus Morrinhos, que utilizaram para criação do aplicativo FruitFirmness. Para validar foram utilizados 240 frutos de tomate para determinação da firmeza de polpa. Os frutos foram separados em três lotes quanto a coloração da epiderme: lote 1 - frutos verdes; lote 2 - frutos laranjas; lote 3 - frutos vermelhos. Cada lote foi constituído de 80 frutos. Para efeito de validação do software, frutos recém-colhidos foram quantificados quanto a firmeza de polpa pelo método de aplanção. Em seguida foram submetidos ao método desenvolvido na presente pesquisa que utiliza a plataforma Desktop com webcam comum, a programação Python e software com ciclo de três etapas: entrada, processamento e saída dos resultados. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ), utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson. Não foram observadas diferenças significativas entre as medidas de firmeza obtidas pelo método manual e pelo software, em nenhum dos estádios de maturação representando a precisão do sistema em relação ao aplanador desenvolvido por Calbo e Nery (1995). O coeficiente indica ótima correlação da firmeza entre ambos. O aplicativo corrobora para a melhora significativa no processo de determinação da firmeza, tornando-o prático, rápido, fácil e mantendo o baixo custo.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum* L.; FruitFirmness; métodos não destrutivos.

## ABSTRACT

FERREIRA, LUCIANA EDUARDO DE SOUZA. Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, August 2023. **Automating a system for determining fruit firmness in tomatoes.** Advisor: Clarice Aparecida Megguer.

The external quality of tomato fruits is important both for consumers and for processing industries that use other relevant characteristics, such as color, pulp firmness, soluble solids (SS), titratable acidity, among others for consumption and production. The flatter method that measures firmness in vegetables is still one of the most used, however, it is not a practical and fast method. The aim of this study was to automate the firmness determination by the flattening method, making it digital. 240 tomato fruits were used to determine pulp firmness. The fruits were separated into three lots according to their epidermis color: lot 1 - unripe fruits; batch 2 - orange fruits; batch 3 - red fruits. Each batch consisted of 80 fruits. For software validation purposes, freshly harvested fruits were quantified in terms of pulp firmness using the flattening method. Then they were submitted to the method developed in the present research that uses the Desktop platform with a common webcam, Python programming and software with a three-step cycle: input, processing and output of results. Data were subjected to analysis of variance and means compared by the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ), using Pearson's correlation coefficient. No significant differences were observed between the firmness measurements obtained by the manual method and by the software, in any of the maturation stages representing the accuracy of the system in relation to the flatter developed by Calbo and Nery (1995). The coefficient indicates an excellent correlation of firmness between

both. The application contributes to a significant improvement in the firmness determination process, making it practical, fast, easy and keeping the cost low.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum* L.; FruitFirmness; non-destructive methods.

## 1 INTRODUÇÃO

A qualidade externa dos frutos de tomates (*Solanum lycopersicum* L.) para os consumidores é um dos parâmetros utilizados para suas escolhas e não é diferente para as indústrias processadoras que utilizam outras características importantes, como coloração, firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável, entre outros (BETEMPS; RAMOS, 2021).

A determinação dos parâmetros de qualidade dos frutos em geral, indica como está o processo de maturação, podendo ser mensurados desde a fase pré-colheita até o pós-colheita, que inclui o armazenamento e a comercialização (LAKSHMI, *et al.*, 2017).

Nas indústrias processadoras de tomates, a firmeza dos frutos é uma característica relevante para definir o momento da colheita em função da logística de distribuição que é feita por caminhões em estradas irregulares podendo gerar queda no rendimento industrial (ALVARENGA, 2013).

Prejuízos, tanto para o produtor quanto para as indústrias, são decorrentes da perda do suco de frutos amassados, além disso, são facilmente contaminados por fungos e bactérias reduzindo a qualidade da matéria-prima (ALVARENGA, 2013).

Nos últimos anos, estão sendo desenvolvidas e testadas várias tecnologias para avaliar a qualidade, interna e externa, do fruto desde sua fase de campo com métodos não

destrutivos, pois estes são menos onerosos reduzindo o desperdício e podendo ser reavaliado com as mesmas amostras (BETEMPS; RAMOS, 2021).

O método do aplanador que mensura a firmeza dependente da pressão de turgescência das células (CALBO & NERY; 1995), é, ainda, um dos mais utilizados para medição de firmeza em hortaliças, no entanto, não é um método prático e rápido.

Dessa forma, o presente estudo teve por objetivo validar o método do Aplanador, tornando-o digital. A pesquisa é inovadora e, inicialmente, é voltada para frutos de tomates para atender a demanda de produtores da região.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### 2.1 Local do desenvolvimento do software

O projeto foi desenvolvido no Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, localizado no município de Morrinhos/GO. Um protótipo computacional foi criado para determinar a firmeza de polpa pelo método de aplanção, que mede a firmeza do fruto de forma não destrutiva e, antes manual, agora de forma digitalizado. Para sua realização foi feita uma parceria entre áreas de conhecimento distintos, como Agronomia e Ciência da Computação com ênfase em Processamento Digital de Imagem para a realização do produto.

### 2.2 Desenvolvimento do software

O núcleo de computação desenvolveu um software baseado em plataforma Desktop, que utiliza uma câmera acoplada ao aplanador por meio de um suporte, que realiza a aquisição das imagens representativas da área deformada do fruto e a determinação da firmeza é gerada através da leitura da imagem feita pela câmera. A linguagem utilizada para a programação foi a Python –incorporada com a biblioteca *OpenCV*. Para tanto, o ambiente de desenvolvimento escolhido é o *Visual Studio Code*.

A utilização de Python é justificado por ser uma linguagem de multiparadigma, pouco verbosa e fortemente aplicada a projetos de processamento digital de imagens. A biblioteca *OpenCv* por ser popular com grande aderência de uso na comunidade associada

a processamento de imagens e o ambiente *Visual Studio Code* por ser uma IDE gratuita, com suporte a diversos tipos de linguagem e desempenho fluído.

### 2.3 Etapas do desenvolvimento do software

A produção do software teve um ciclo com três etapas que consiste na entrada, processamento e saída dos resultados.

A primeira etapa do ciclo consiste na entrada de dados que foi testada por um pacote de fotos tirada com celular, porém a entrada de dados desejável é com métodos automatizados, ou seja, por uma câmera acoplada em suporte no próprio aplanador, para deixar o método mais eficaz.

A segunda etapa do ciclo é o processamento e este foi feito pela leitura da imagem e essa imagem perdeu toda a coloração e foi transformada em cor cinza. Em seguida, a imagem foi borrada para tirar os desfoques e, na etapa seguinte, usou o *thershold adaptative*, que dá destaque ao contorno da elipse, quando se tem resultado satisfatório do contorno calcula-se, então, a área da elipse.

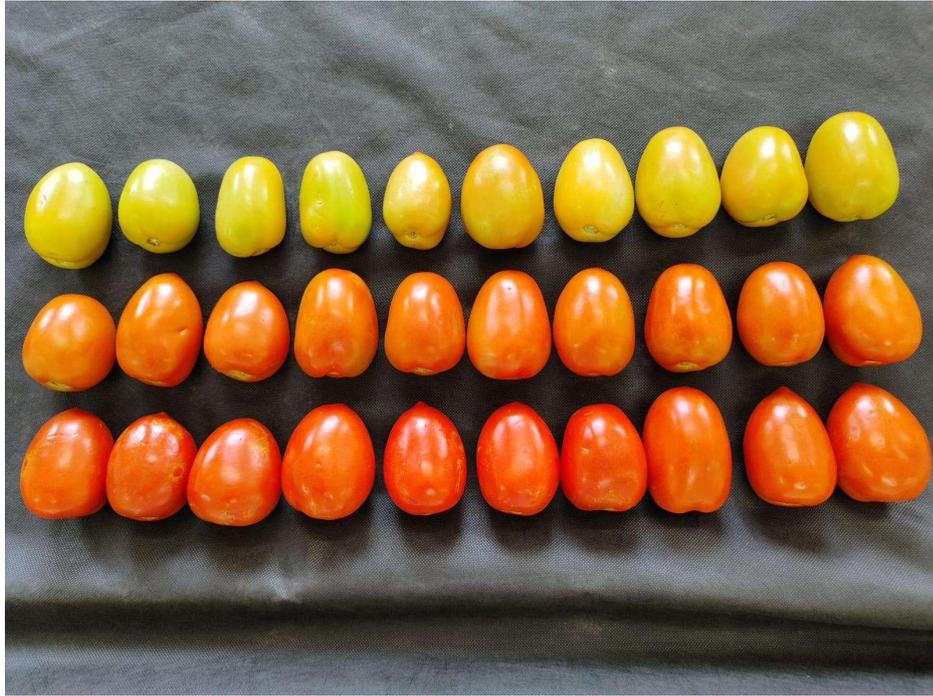
Na segunda parte do processamento, foi usada uma escala de distância X pixels. Já na terceira e última etapa do processamento, foi calculada a área da elipse com o valor obtido da área da elipse.

Por último, tem-se a saída que é a terceira etapa do ciclo, gerando uma imagem com o cálculo, apresentando o resultado da firmeza, tudo isso, ocorre de forma rápida, prática e instantânea.

### 2.4 Material para validação do software

Durante o desenvolvimento do software, foram realizadas várias análises para determinação de firmeza de frutos de tomate no aplanador manual, com a finalidade de coletar imagens, as quais foram fornecidas ao núcleo de computação que utilizaram as mesmas para criação do aplicativo FruitFirmness.

Para validar o sistema, utilizou-se 240 frutos de tomates, que foram separados em três lotes quanto à coloração da epiderme: lote 1 - frutos verdes; lote 2 - frutos laranjas; lote 3 - frutos maduros. Cada lote foi constituído por 80 frutos (Figura 1).



**Figura 1.** Classificação dos frutos: lote 1 - frutos verdes; lote 2 – frutos laranjas, lote 3 – frutos vermelhos em Morrinhos-GO. Fonte: Luciana Eduardo de Souza Ferreira (2023).

## 2.5 Metodologia para validar o software

Inicialmente, os frutos de tomates recém-colhidos foram quantificados quanto à firmeza de polpa pelo método de aplanção, conforme metodologia descrita por Calbo e Nery (1995). A equação para cálculo da firmeza é:

$$\text{Firmeza (kgf/cm}^2\text{)} = P/A \quad (3)$$

Em que:

P = massa constituída pela madeira + o vidro, representado em kg;

A = área deformada após a deposição do peso sobre a superfície do fruto.

A área é calculada pela seguinte equação:

$$A \text{ (cm}^2\text{)} = 0,784 \times a \times b \quad (4)$$

sendo:

0,784= fator de correção da elipse;

a= comprimento da elipse;

b= largura da elipse.

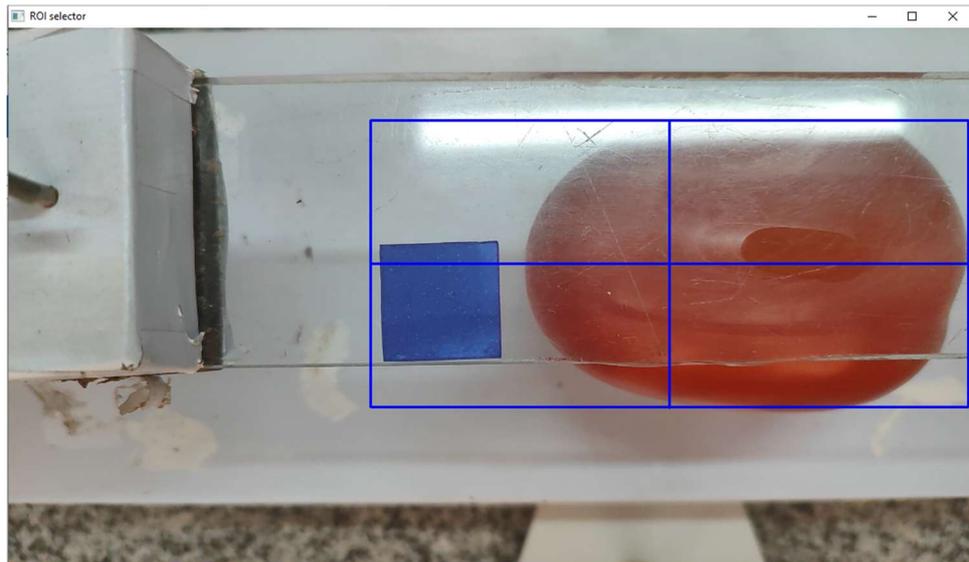
Realizou-se, concomitantemente, nos frutos a análise pelo método tradicional de aplanção, descrito acima, e o software desenvolvido. As etapas do software estão descritas a seguir:

Com um computador e um celular com webcam conectados na mesma rede de internet, deve-se abrir o software IP Webcam no celular e posicioná-lo na parte superior do aplanador, de forma que a imagem do fruto seja capturada pela câmera do celular. Em seguida, abrir o programa IP Webcam no computador e inserir o endereço de IP adicionado de vídeo, que será copiado da câmera do celular. Escolher o tamanho da tela e optar pelo 3 que é o mais adequado para o notebook, assim, conforme a figura 2.



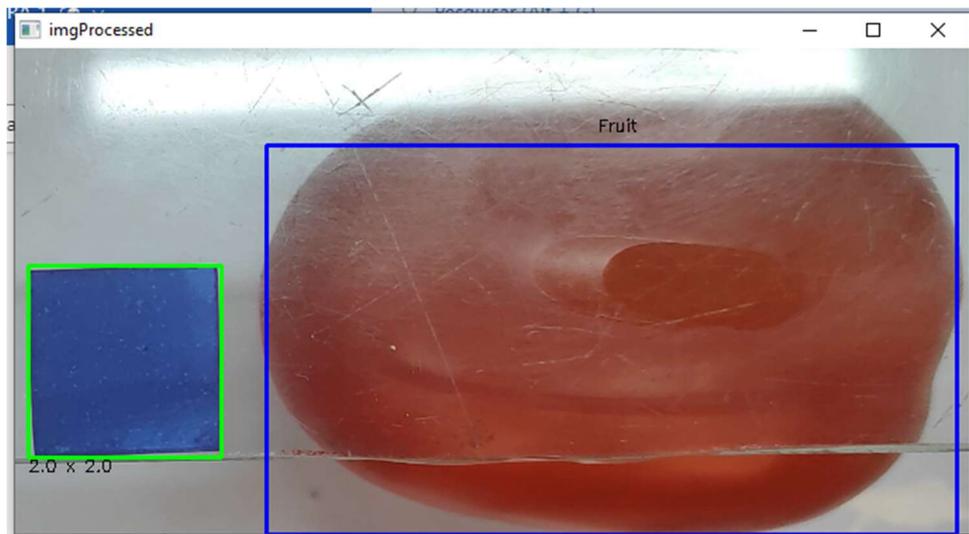
**Figura 2.** Imagem da primeira etapa da utilização do software, em Morrinhos-GO. Fonte: Luciana Eduardo de Souza Ferreira (2023).

Com o botão esquerdo do mouse, seleciona-se uma área útil, que precisa englobar a referência (quadrado azul medindo 2x2cm) e o tomate (Figura 3).



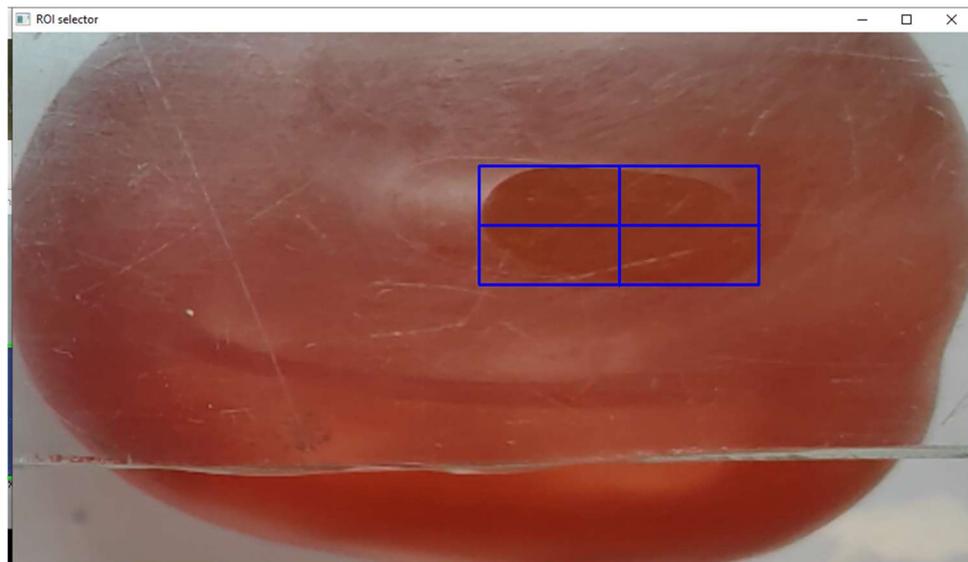
**Figura 3.** Imagem da área útil selecionada, em Morrinhos-GO. Fonte: Luciana Eduardo de Souza Ferreira (2023).

Em seguida, a ação é confirmada pressionando o botão "Enter" (Figura 4).



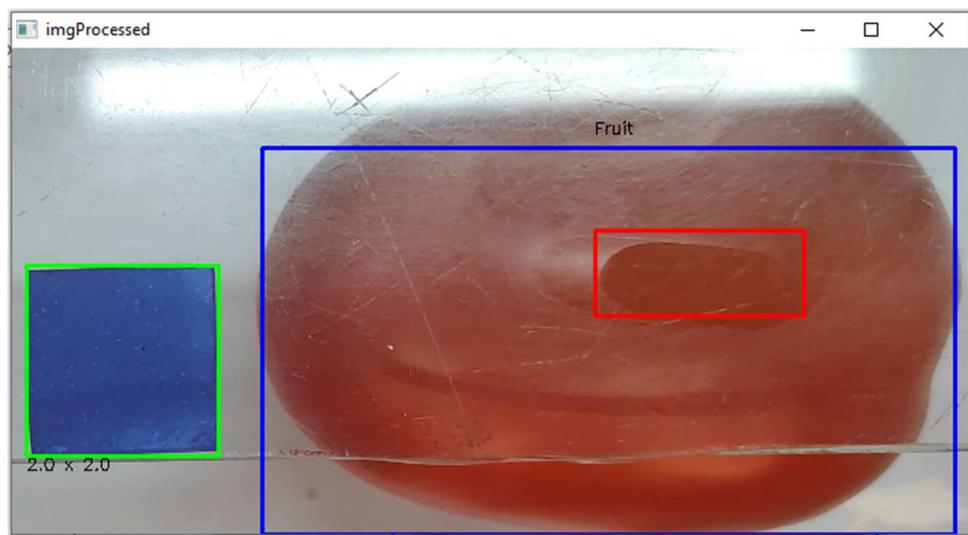
**Figura 4.** Imagem aproximada do tomate, em Morrinhos-Go. Fonte: Luciana Eduardo de Souza Ferreira (2023).

Depois, com o botão esquerdo do mouse, seleciona-se a área deformada (Figura 5).

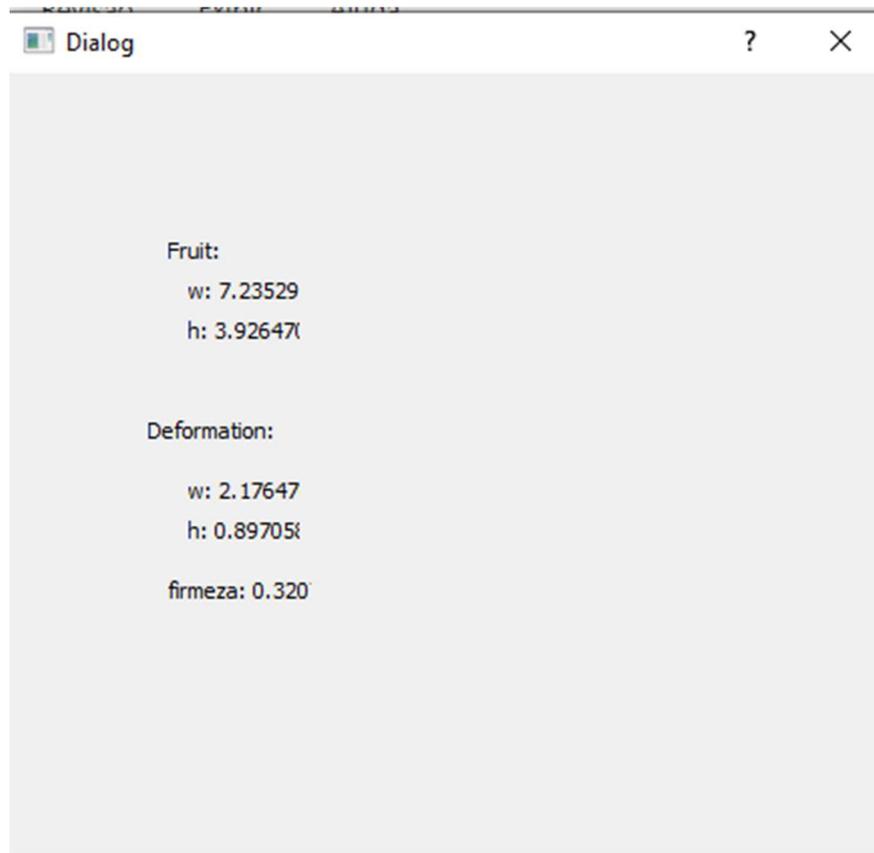


**Figura 5.** Imagem da área deformada, em Morrinhos-GO. Fonte: Luciana Eduardo de Souza Ferreira (2023).

Deve-se clicar com o botão direito do mouse para obter o resultado (Figuras 6 e 7).



**Figura 6.** Imagem da área sendo calculada, em Morrinhos-GO. Fonte: Luciana Eduardo de Souza Ferreira (2023).



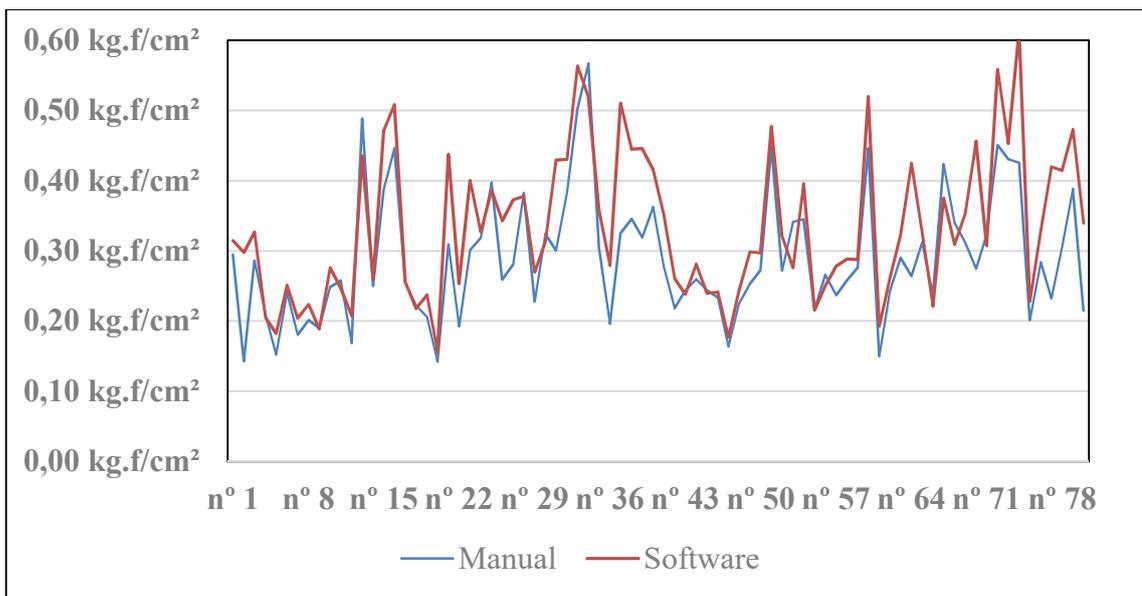
**Figura 7.** Resultado da Firmeza, em Morrinhos-GO. Fonte: Luciana Eduardo de Souza Ferreira (2023).

### 3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

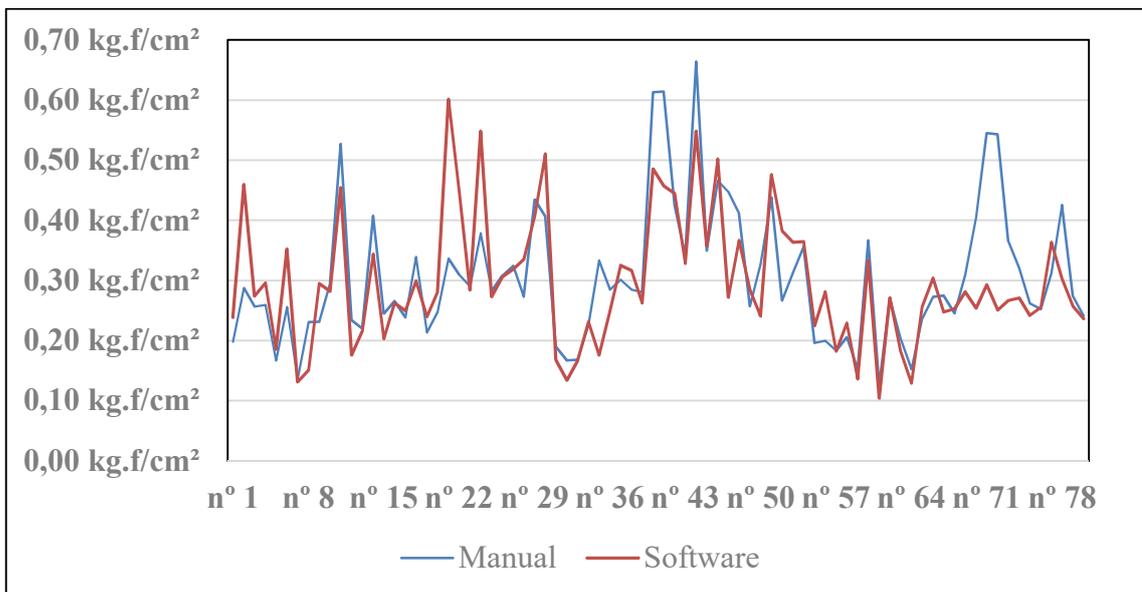
Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Para verificar a correlação entre o método de aplanção e o software em cada estágio de maturação foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

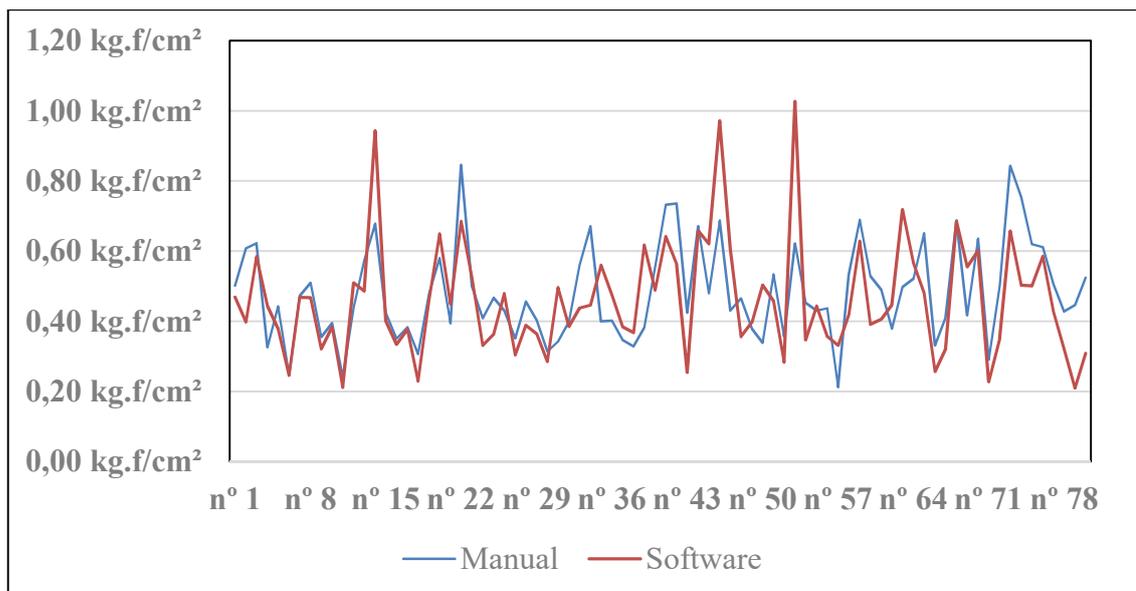
Os frutos de tomates submetidos as duas metodologias, manual e software, são demonstrados nas figuras abaixo (8, 9 e 10), corroborando para a perspectiva de que não se diferem. Na tabela 1, estão expostos os valores médios de firmeza e seus respectivos desvio padrão nos estádios de maturação verde, laranja e maduro.



**Figura 8.** Firmeza de fruto maduro de tomate segundo método de aplanção manual e software desenvolvido (FERREIRA, L. E. S.).



**Figura 9.** Firmeza de fruto laranja de tomate segundo método de aplanção manual e software desenvolvido (FERREIRA, L. E. S.).



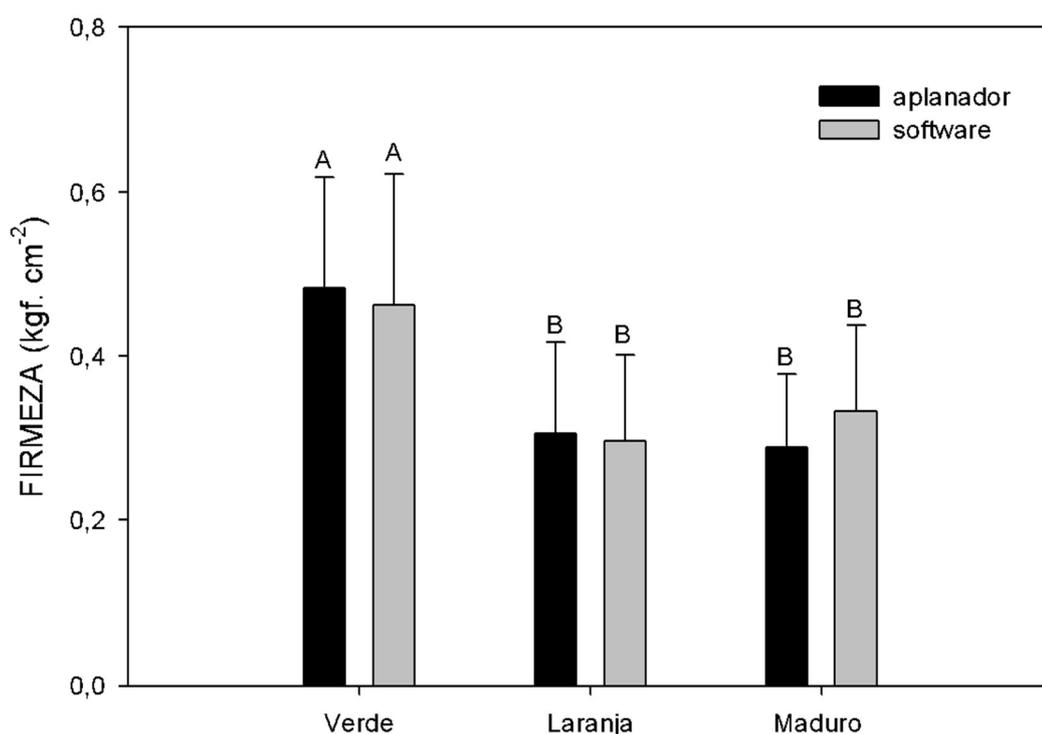
**Figura 10.** Firmeza de fruto verde de tomate segundo método de aplanção manual e software desenvolvido (FERREIRA, L. E. S.).

**Tabela 1.** Valores médios de firmeza (kgf/cm<sup>2</sup>) em frutos de tomate nos estádios de maturação verde, laranja e maduro determinados manualmente e pelo software FruitFirmness.

Estádio de maturação	Média do aplanador	Média do software
Verde	0,482±0,136	0,462±0,160
Laranja	0,306±0,111	0,297±0,105
Maduro	0,290±0,089	0,333±0,104
<b>Média Geral</b>	<b>0,359429587</b>	<b>0,364255906</b>

\*Os valores representam a média de 80 frutos em cada estágio de maturação.

Assim, não foram observadas diferenças significativas entre as medidas de firmeza obtidas pelo método manual e pelo software, em nenhum dos estádios de maturação, representando a precisão do sistema em relação ao aplanador desenvolvido por Calbo e Nery (1995). Houve apenas diferença significativa no estágio verde quando comparados ao laranja e vermelho (Figura 11).



**Figura 11.** Determinação da firmeza de frutos de tomate obtido por meio do aplanador e software. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

O coeficiente de correlação, para as medidas adquiridas em cada estágio de maturação via aplanador e software, indica ótima correlação da firmeza entre ambos, principalmente nos tomates vermelhos, diminuindo para o laranja e verde (Tabela 2).

**Tabela 2.** Valores médio de firmeza de frutos de tomate em estágio de maturação verde, laranja e maduro determinados pelo método de aplanção e pelo software FruiFirmness e o coeficiente de correlação de Pearson entre o método de aplanção e o software desenvolvido.

Estádio de maturação	Aplanador	Software	correlação
Verde	0,482	0,462	0,66
Laranja	0,306	0,297	0,70
Maduro	0,290	0,333	0,84

## 5. CONCLUSÃO

O aplicativo FruitFirmness possui alta confiabilidade, aproximadamente 85% para o estágio de maturação maduro. O aplicativo desenvolvido neste projeto, quando comparado ao método de aplanção manual, percebe-se melhora significativa no processo de determinação da firmeza, tornando-o prático, rápido, fácil e mantendo o baixo custo.

O software pode ser melhorado, tornando independente do aparelho celular, utilizando uma câmera fotográfica, podendo desenvolver um sistema para que os dados sejam armazenados em planilha tornando ainda mais prático. Quando aperfeiçoado, futuramente, permitirá ao produtor a utilização em campo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, M. A. R. Origem, Botânica e Descrição da planta. In: ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: Produção em Campo, Casa de Vegetação e Hidroponia**. 2. ed. Editora Universitária de Lavras, cap. 1, p. 13-21, Lavras – MG, 2013.

BETEMPS, D.L.; RAMOS, R.F. Avaliações não destrutivas em pós-colheita. **Informe Agropecuário**. Pós-colheita, v.42, n.314, p.01-07, 2021.

CALBO, A.G.; NERY, A.A. Medida de firmeza de hortaliças pela técnica de aplanção. **Horticultura Brasileira**, v.13, n.1, p.14-18, 1995.

LAKSHMI, S.; PANDEY, A.K.; RAVI, N.; CHAUHAN, O.P.; GOPALAN, N.; SHARMA, R.K. Non-destructive quality monitoring of fresh fruits and vegetables. **Defence Life Science Journal**, v.2, n.2, p.103-110, 2017.

MORETTI, C. L. Protocolos de avaliação da qualidade química e física de tomate. **Embrapa Hortaliças-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 1ª edição, Brasília – DF.; Edição eletrônica: José Miguel dos Santos; 13p, 2006.