



RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL DE MORANGOS ATRAVÉS DE NUVEM DE PONTOS E TEXTURE-MAPPING

Bolsista / RA: Tzyy Shyuan Yang / 225010

Orientadora: Juliana Aparecida Fracarolli

Local de execução: Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita da Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil

Resumo

O uso de tecnologias digitais para análise de imagens fornece informações poderosas para fins agrícolas tais como: tamanho, volume, biomassa, temperatura e outras informações que podem ser extraídas através de processamento de imagens. Com o objetivo de ampliar o uso de novas tecnologias em pós-colheita de produtos agrícolas e de aprimorar as técnicas existentes é que se propõe este trabalho que teve como propósitos obter imagens de tomate, maçã e morango em 3 dimensões (x,y,z) com cor RGB e texturizada através de nuvem de pontos em formato PLY para a reconstrução 3D. Foi realizado também um estudo acerca da representação de superfícies e mapeamento de textura em nuvem de pontos a fim de analisar princípios teóricos de imagens digitais e representação de sinais estereoscópicos em 3D. Foram avaliados softwares e outras ferramentas utilizadas no projeto, bem como sua aplicação, sua interação gráfica e seu manejo de imagens 3D para melhor visualização dos frutos. Foi obtida a reconstrução 3D em geral do tomate, maçã e morango bem sucedidas, observando-se que os objetos reconstruídos apresentavam qualidade visual e se aproximaram muito bem do fruto real. Espera-se com este trabalho alavancar as tecnologias que vêm sendo desenvolvidas com análise de imagens na agricultura.

Palavras-chave: 3D, morango, pós-colheita, PLY, análise de imagens.

1. Introdução

Em relação ao sistema de produção atual, os programas de melhoramento genético e biotecnologia têm se desenvolvido na área da tecnologia digital se fundamentando nas pesquisas em fenotipagem como reconstrução tridimensional. A manipulação da estrutura funcional da planta é a base para alcançar melhorias na produtividade ao longo da história da agricultura (TURNBULL, 2005). O equipamento acoplado à câmera estereoscópica de alta definição está sendo desenvolvido a fim de automatizar o processo de captura de imagens da cultura agrícola. Em outras palavras, as características dos vegetais são reconstruídas digitalmente, as quais permitirão coleta de uma série de parâmetros, como tamanho, volume, biomassa e temperatura da planta em determinada escala, facilitando aos melhoristas e permitindo que fisiologistas realizem buscas e decisões de aprimoramento do produto em determinadas ocorrências (SANTOS; RODRIGUES, 2015). Portanto, atualmente, as principais áreas de pesquisa que necessitam fortemente desses tipos de informação são: fenotipagem do produto em larga escala e modelagem geométrica para determinar sistema arquitetural da planta (SANTOS; OLIVEIRA, 2012).

Dessa forma, é fato que as representações computacionais de várias entidades do dia-a-dia podem ser geradas rapidamente através de pontos expressos na superfície de determinado objeto, cujo material físico já é existente no mundo real. Primeiramente, os pontos de um determinado

produto são coletados por um dispositivo eletrônico e logo são expressos em uma nuvem de pontos (SILVA JÚNIOR, 2016). Esta é uma maneira de representar com simplicidade determinada superfície em um modelo não estrutural, mesmo que haja tais características como um conjunto de pontos densos, sem conectividade, não ordenados e nem estruturados (LEVOY; WHITTED, 2000).

Com isso, sabe-se que ainda hoje há constantes dificuldades clássicas na geração de representações superficiais, por exemplo, no alcance da qualidade de representação virtual, inviabilidade do preço de variados equipamentos e limitações do uso de nuvens de pontos. Entretanto, conforme o desenvolvimento da tecnologia de escaneamento tridimensional, os modelos geométricos vêm se tornando cada vez mais complexos e mais ricos em número de dados (SILVA JÚNIOR, 2016). Neste projeto, propõe-se a aplicação de recursos alternativos, de baixo custo e inovadores, como o uso de técnicas não destrutivas e não invasivas. Isto é, além de capturar e exibir imagens tiradas de uma câmera estereoscópica e arquitetar um visualizador de representações gráficas em uma nuvem de pontos, será feito também nesse processo a leitura e análise de arquivos no formato PLY (Polygon File Format), os quais muitas vezes são aplicados para depositar nuvens de pontos. A PLY é uma ferramenta de análise escrita em linguagem de programação Python que originalmente era em linguagem C, desenvolvido

pela Stanford University para depósito de uma série de elementos em um sistema, comprimindo-os em arquivos menores para acelerar no processamento. Dessa maneira, o sistema é capaz de exibir os pontos e cores RGB (Red, Green, Blue) coletados em um plano tridimensional.

Diante disso, as técnicas ópticas de reconstrução tridimensional vem sendo aplicadas cada vez mais em diversas áreas técnicas e científicas a fim de analisar os dados de forma mais fidedigna, econômica e eficiente (FRACAROLLI, 2014). Um exemplo disso, a Photogrammetry, uma tecnologia de baixo custo aplicada na arte e na ciência com o propósito em adquirir dados geométricos detectando pontos sobre a forma 3D, orientação e sentido do objeto. Essas ferramentas fotogramétricas estão contribuindo cada vez mais na ciência, na engenharia e no mercado de trabalho (GRANSHAW; FRASER, 2015). Outro exemplo é o processo de desenvolvimento tecnológico de câmeras de laser scanner 3D, as quais são comumente utilizadas na área de saúde, robótica, arqueologia, cartografia e geologia e vêm sendo cada vez mais essencial para visualização do modelo escaneado. Isso porque a modelagem é representada em nuvens de pontos, as quais são capazes de adquirir inúmeras características precisas e detalhadas, como cores em RGB, perspectiva, superposição de imagens, profundidade, luminância, reflectância e crominância (SILVA JÚNIOR, 2016). Nesse contexto, quanto a aplicação de reconstrução 3D na agricultura, esta ainda é um método muito novo, em consequência, não há muito corpo de conhecimento em relação a inúmeros frutos, legumes e verduras. Diante disso, é de grande importância entender quais são os métodos mais adequados, as técnicas de preparação e análise dos dados do 3D na comunidade científica especialmente quando se trata de gêneros agrícolas individuais.

No presente trabalho, tem-se como objetivo obter a reconstrução 3D do fenótipo do fruto morango utilizando uma sequência de imagens adquiridas de uma câmera webcam estereótipo comercial e especialmente de alta qualidade. Com um software já desenvolvido utilizado juntamente com imagens já obtidas para criar no formato PLY uma nuvem de pontos tridimensionais com características geométricas e colorimétricas do fruto morango de forma precisa em escala mínima. Este projeto é parte de um Projeto Universal do CNPq denominado Reconstrução Tridimensional de Frutos com Biospeckle sob protocolo número 424016/2016-8.

Foi definido o morango como o objeto que será feita reconstrução tridimensional, primeiro, em razão do valor agregado do morango seja no âmbito nutricional, ambiental, social e econômico, durante muito tempo inúmeros estudos e pesquisas foram centrados acerca das características e propriedades fisiológicos. Nesse sentido, conforme Siqueira et al. (2009), o morango é uma infrutescência altamente perecível que possui alta taxa respiratória e metabólica e limitações na pós-colheita por causa do seu elevado teor de umidade, sacaroses e ácidos, assim, o fruto torna-se um substrato adequado para a proliferação de patógenos que acarretam consideráveis prejuízos durante a maturação, o transporte e a pós-colheita.

Além disso, os frutos em diferentes estádios de maturação, tamanho, forma, defeitos e danos devem ser selecionados e classificados para melhor manuseio e

comercialização. Entretanto, atualmente, o Brasil ainda possui inúmeros serviços que selecionam os produtos manualmente, portanto, é o mercado que busca novas capacitações e tecnologias para atender o nível de qualidade exigido pelos consumidores nacionais e estrangeiras. Diante disso, segundo Ferreira et al. (2015) principalmente os processos da seleção e classificação do fruto influenciam diretamente no seu valor econômico, no qual impacta significativamente durante o comércio entre o produtor e o consumidor.

Em suma, pode-se afirmar que o morango é um produto que ainda necessita de melhorias e cuidados, portanto, a técnica alternativa, não destrutiva, automática, rápida, em tempo real e cada vez com maior precisão deve proporcionar maiores benefícios para o cultivo do fruto e na pós-colheita, como a diminuição na mão de obra, maior agilidade no processo de cultivo por meio da exploração de câmeras digitais ou da visão estereoscópica e da aquisição de grande número de dados. Dessa maneira, nota-se que métodos tridimensionais apresentam vantagens claras como informações volumétricas que contribuem para estipular a produtividade e determinar a qualidade através do tamanho, forma, cor, textura, massa do fruto, e em consequência, possibilitar uma melhor seleção e classificação dos graus de maturação para conservar o fruto in natura, prolongar sua vida útil, diminuir perda de alimentos e garantir ganhos operacionais e aumento de eficiência.

2. Objetivo

2.1. Geral

- Obter imagens de tomate, maçã e morango em 3 dimensões (x,y,z) com cor RGB e texturizada através de nuvem de pontos em formato PLY para a reconstrução 3D.
- Avaliar de forma visual a qualidade de resultados à medida que a reconstrução 3D se aproxima do fruto real.

2.2. Específico

- Efetuar um estudo acerca da representação de superfícies e mapeamento de textura em nuvem de pontos a fim de analisar princípios teóricos de imagens digitais e representação de sinais estereoscópicas em 3D.
- Efetuar um estudo de softwares e outras ferramentas utilizados no projeto, bem como sua aplicação, sua interação gráfica e seu manejo de imagens 3D para melhor visualização do fruto.

3. Materiais e Métodos

3.1. Obtenção das imagens de tomate e maçã para reconstrução 3D

Primeiramente, foram realizados a instalação e aprendizado em manuseio de softwares (como 3-Demeter Capture, COLMAP, Blender 2.79b e MeshLab) de fácil aplicação e com interação gráfica simples para, mais tarde, efetuar captura de imagens em 3D e um estudo aprofundado sobre a representação de superfícies e texture-mapping em nuvem de pontos.

Neste projeto, foi utilizada maçã cv. Gala, a qual já está no último estágio de maturação e foi adquirida no supermercado para o primeiro experimento e treinamento de

reconstrução 3D. Em seguida, juntamente com o andamento do projeto Reconstrução Tridimensional de Tomates com Integração de dados de Biospeckle Laser da aluna de mestrado Fernanda Fernandes Adimari em Engenharia Agrícola - UNICAMP, foram utilizados tomates cv. Compack (DRW 7698) como segundo teste. Esses frutos foram colhidos no estádio 1 e foram levados para o Laboratório de Tecnologia Pós-colheita da FEAGRI- UNICAMP para mergulhá-los em uma solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 2,5% por 15 minutos e secados a fim de higienizar suas impurezas provenientes do campo. Ao longo das semanas, os experimentos foram realizados de acordo com os estádios que eram atingidos gradualmente. Logo, foi utilizado 1 tomate para cada estádio de maturação, segundo padrão da USDA, para obter as imagens para reconstrução 3D seguindo o método desenvolvido por Santos et al. (2017).

Em relação a etapa de aquisição de imagens (Figura 1), foram utilizados como auxílio um estúdio composto por uma tenda difusora branca de 80 x 80 cm com fundo infinito tipo estúdio, um emissor de laser (marca LaserLine, modelo IZI 638, comprimento de onda 638nm e potência de 5mW), uma webcam monóptica (marca Logitech® modelo C920 Pro Full Hd 1080p 15Mp) e uma mesa giratória que possibilita controles de movimentos de rotação contínua a uma velocidade constante.



Figura 1: Local utilizado para aquisição de imagens 3D

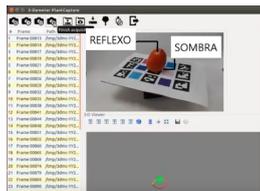


Figura 2: Obtenção de nuvem de pontos do tomate no 3DMCap com extensão PLY

Logo, num ambiente iluminado e utilizando o programa 3DMCap com um notebook com sistema operacional GNU/Linux, a sequência de imagens para reconstrução 3D foi capturada até ultrapassar 400 frames para se obter a maior quantidade de pontos na nuvem enquanto a maçã ou o tomate permanece sob o suporte giratório em movimento de rotação (Figura 2). Diante disso, é gerado arquivos com os frames tomados e com a nuvem de pontos em PLY, sendo esta última importada pelo software MeshLab para o início do processamento da malha de pontos, reconstrução, melhor visualização do produto e realizar a aplicação de texture-mapping. A partir desse processamento é possível avaliar a qualidade das imagens 3D desses frutos.

3.2. Obtenção das imagens de morango para reconstrução 3D

Devido a situação da pandemia CoViD-19, não foi possível realizar os experimentos para capturar as imagens tridimensionais de morangos no laboratório utilizando o software 3DMCap. Portanto, o projeto passou por modificações tal como aquisição do banco de dados dos morangos disponibilizado na internet. O projeto se baseou no banco de dados do site DRYAD, no qual fornece propriedades geométricas, imagens e escaneamento 3D de morangos.

O banco de dados obtido na internet foi realizado com 1611 morangos com 15 cultivares e colhidos em Oxnard, Santa Maria e Watsonville (Califórnia, EUA). Os morangos foram colhidos e entregues na Universidade da Califórnia, Davis. A primeira etapa era coletar 22 imagens 2D de cada fruto com câmera NIKON DS 2000. Portanto, cada morango foi fixado em um braço robótico e rotacionado entre cada imagem. Para obter um conjunto uniforme de imagens, foi necessário um bom controle constante do ambiente de iluminação (DURAND-PETITEVILLE; SADOWSKI; VOUGIOUKAS, 2018). Para o atual projeto, foi escolhido o banco de dados do morango cv. Monterrey e 4 imagens do fruto com 4 vistas diferentes para que seja realizado posteriormente o UV mapping com pontos das coordenadas específicos que irão corresponder ao modelo tridimensional.

A etapa seguinte consistiu em escanear os morangos, isto é, a digitalização foi feita usando um scanner Solutionix Rexcan DS2 a fim de fornecer uma nuvem de pontos. Antes disso, os frutos foram pulverizados com uma solução de titânio branco para reduzir o reflexo de luz. Assim, cada fruto foi colocado em uma plataforma móvel dentro do scanner. Assim, foram obtidas 10 vistas diferentes que foram usadas para criar o modelo 3D (DURAND-PETITEVILLE; SADOWSKI; VOUGIOUKAS, 2018). Para iniciar o processamento de imagens no presente projeto, os arquivos fornecidos no site estão em STL (Standard Triangle Language), ou seja, não inclui cores RGB, e sim, pontos em uma escala de cinza. Assim, foi necessário converter em PLY pois este oferece tamanho de arquivo menor permitindo menos espaço para armazenamento em nuvem e carregamento mais rápido da malha 3D em programas de software. A partir disso, iniciou-se a rotina de reconstruir os morangos com UV mapping no software MeshLab 2016.12.

4. Resultados e Discussão

4.1. Reconstrução tridimensional do tomate e maçã

Antes de realizar experimento, foram feitos alguns estudos sobre o modelo de webcam monóptica seria mais adequado. Decidiu-se que a marca Logitech C920 Pro Full Hd 1080p 15Mp produz imagens nítidas, microfones duais estéreis com redução de ruído e correção automática de pouca luz e de alta velocidade. Apesar disso, a partir dos experimentos executados, a aquisição da nuvem de pontos em PLY por meio do 3DMCap foi desafiadora, pois foi possível observar problemas na luminosidade do laboratório como a presença de sombras, reflexos e ruído nos modelos dos tomates e das maçãs durante a captura de pontos como sendo os principais problemas enfrentados.

Os dados coletados sob influências ambientais dificultam o software 3DMCap na distinção entre pontos de superfície verdadeiros ou falsos, ou seja, ao invés de captar somente detalhes do produto por nuvem de pontos, coleta dados de sombra ou de reflexo da luz, os quais tornam a reconstrução tridimensional do produto ineficiente e ruidosa.

Diante disso, acerca do experimento com frutos diferentes, a presença de sombras e pelo tomate possuir uma superfície lisa e homogênea em cor e textura, as quais permitem maior reflexo de luzes, impossibilitou o software

3DMCap capturar a superfície verdadeira. Sendo assim, nota-se na superfície do tomate vários espaços vazios causados pela grande quantidade de pontos não obtidos, cujos defeitos dificultaram na reconstrução do fruto (Figura 3). Foi um desafio realizar a captura da nuvem de pontos PLY pelo 3DMCap, mas foi possível a realização da reconstrução 3D.



Figura 3: Nuvem de pontos do tomate importada para o MeshLab

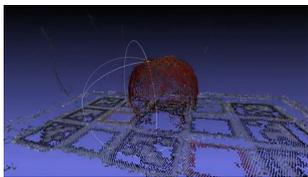


Figura 4: Nuvem de pontos da maçã no MeshLab

Em seguida, na Figura 4, percebe-se que, apesar da presença de sombras na parte inferior de maçã e por sua casca ser mais rugosa em comparação com a do tomate, há menos reflexão de luz. Isso possibilitou obter inúmeros pontos do fruto e, depois de uma “limpeza” (Figura 5) daqueles que não fazem parte da superfície do fruto para reconstrução tridimensional e uma aplicação de textura, atingiu um melhor aspecto visual (Figura 6) se comparado com o caso dos tomates.

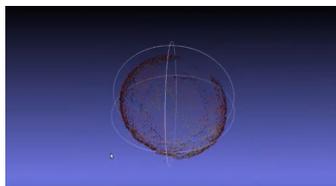


Figura 5: Pontos preservados após filtragem de resíduos indesejados na superfície da maçã.



Figura 6: Após reconstrução 3D e aplicação de textura no maçã no MeshLab.

Nesse contexto, em relação ao processamento de modelos na extensão em PLY, foi decidido que, ao invés de utilizar Blender 2.79b, aplicar o MeshLab, por este segundo ser uma ferramenta de fácil interação gráfica tanto na representação de superfícies quanto no mapeamento de texturas e por também possuir grande gama de ferramentas inclusas. Durante a edição do 3D dos frutos, pode-se notar que o programa proporcionou para reduzir os efeitos inadequados durante a captura de pontos, como também fechar os pontos e aumentar o número de vértices na nuvem de pontos do tomate.

Nesse sentido, foi possível realizar as reconstruções de tomate e de maçã, apenas o resultado do tomate foi reconstruído de maneira aproximada, visto que a superfície não foi 100% mapeada e foi preciso acrescentar edições para melhorar a visualização do objeto, por exemplo, a função Convex Hull e Poisson Surface Reconstruction foi aplicada inúmeras vezes.

Em suma, a técnica de reconstrução 3D em geral foram bem sucedidas permitindo a visualização do mapa de texturas tanto de tomate quanto de maçã. Portanto, pode-se afirmar que a qualidade final do produto reconstruído depende muito do ambiente de captura das imagens, da quantidade e do posicionamento dos pontos PLY capturados.

4.2. Reconstrução tridimensional do morango

Em determinados casos durante a etapa final da reconstrução 3D do morango no MeshLab, acontecia do fruto ficar totalmente escuro (Figura 7) após aplicar textura.



Figura 7: Morango com textura totalmente escura

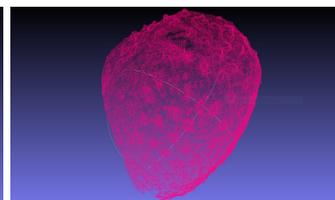


Figura 8: Nuvem de pontos do morango ainda não fechados

Dessa forma, foi necessário aplicar todo o processo de reconstrução 3D do início, mas com inúmeros ajustes nos valores.

Logo, é realizado de novo todo o processo de fechamento dos pontos (Figura 8), aumento do número de vértices, conversão da nuvem de pontos (Figura 9) em malhas (Figura 10), e depois de normalizar as faces (Figura 11) e vértices (Figura 12), é incorporada na malha 3D de Poisson as 4 texturas em UV mapping do morango. Assim, o fruto é novamente texturizado (Figura 13).

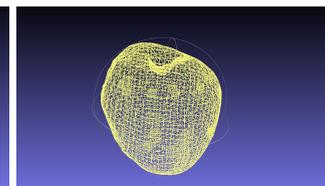
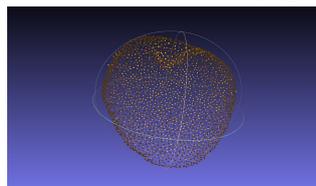


Figura 9: Nuvem de pontos do morango Figura 10: Imagem do morango após fechado e com a simplificação de pontos. converter pontos em malhas.

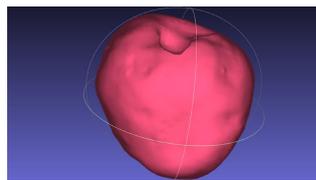


Figura 11: Normalização de Faces

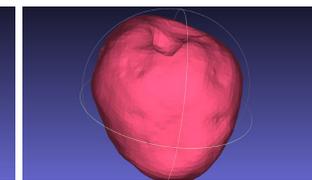


Figura 12: Normalização de Vértices

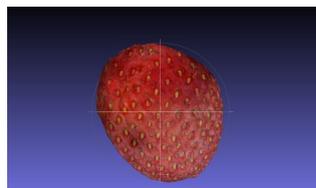


Figura 13: Morango texturizada com UV mapping



Figura 14: Desalinhamento entre a cor e a concavidade da semente

Ademais, nota-se que tanto os tomates quanto as maçãs possuem superfície mais homogênea e lisa, em comparação com dos morangos, os quais possuem superfície rugosa e com múltiplas concavidades. Portanto, em todos os resultados, depois de ter aplicado UV mapping nos frutos, observa-se que as concavidades onde estão presentes as sementes do morango não se alinham com as cores da semente (Figura 14).

Diante disso, pode-se perceber que a UV mapping apresentou distorção na geometria, na escala e também no posicionamento de corte no momento de texturizar o objeto 3D.

Diante disso, deve-se considerar que devido à pandemia, as práticas laboratoriais foram suspensas, então foi feita a decisão em adquirir dados pela internet. Entretanto, em relação a reconstrução 3D do morango, se comparado com tomate e maçã, nota-se que houve diferença tanto do ambiente de aquisição de imagens quanto das ferramentas utilizadas para a captura de imagens tridimensionais. Diante disso, conclui-se que foram obtidos resultados de morango mais precisos, tais

como menor interferência de reflexo de luz, sombra e outros ruídos, em consequência, para a maior parte dos morangos reconstruídos foi obtido um bom aspecto visual e uma reconstrução tridimensional bastante próxima ao fruto real, as quais atendem os objetivos do projeto.

5. Conclusão

Nesse contexto, pode-se afirmar que o programa MeshLab é uma ferramenta de fácil interação gráfica para representar as superfícies e para mapear texturas contribuindo na análise de imagens.

Apesar do resultado da etapa final de texturização do morango, pode-se dizer que a reconstrução 3D em geral do tomate, maçã e morango foram bem sucedidos, visto que a qualidade visual dos objetos reconstruídos se aproximaram muito bem do fruto real. Além disso, é concluído que a qualidade final do produto reconstruído depende fortemente do ambiente onde são obtidas as imagens, da quantidade e do posicionamento dos pontos PLY obtidos pelos softwares como 3DMCap e scanner Solutionix Rexcan DS2.

A partir da metodologia não destrutiva, é possível contribuir com informações fundamentais referentes a determinação de qualidade visual do fruto. Este método de reconstrução tridimensional apresentou vantagens para aumentar o corpo de trabalhos que tem como finalidade em prever rendimento e investigar saúde de produtos ao longo da cadeia produtiva até a pós-colheita.

6. Desdobramento do Trabalho

O Biospeckle Laser (BSL) pode ser utilizado para verificar desde viabilidade do potencial de sementes como apresentado por Fracarolli (2011), visto que as sementes estão presentes ao redor do morango, até a determinação de índice de maturidade do fruto, correlacionando os parâmetros numéricos com atributos da análise físico-químico do fruto como apresentado por Pavarin (2020).

Dessa forma, manter o aspecto do projeto de ter métodos de reconstrução tridimensional, aplicação do biospeckle e análise físico-químico pode ser muito promissor, visto que técnicas de baixos custos e de preservação da qualidade dos resultados são fundamentais para novos desenvolvimentos tecnológicos com análise de imagens.

7. Agradecimentos

Agradeço a SAE/UNICAMP pela bolsa concedida.

Agradeço a FEAGRI - UNICAMP pelo excelente programa e infraestrutura.

Agradeço ao CNPq pelo apoio para compra de equipamentos através do projeto “Reconstrução Tridimensional de Frutos com Biospeckle” sob Processo número: 424016/2016-8.

Agradeço à minha orientadora Juliana Fracarolli e a minha coorientadora Fernanda Adimari pelo comprometimento, pela confiança, pelo aprendizado e pelo tempo dedicado.

8. Referências Bibliográficas

DURAND-PETITEVILLE, Adrien; SADOWSKI, Dennis; VOUGIOUKAS, Stavros (2018), **A Strawberry Database: Geometric Properties, Images and 3D Scans**, UC Davis, Dataset.

Disponível em: <<https://doi.org/10.25338/B8V308>>. Acesso em: 15 agosto 2020.

FERREIRA, S. M. R. et al. **Qualidade pós-colheita do tomate de mesa convencional e orgânico**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 30, n. 4, p. 858–864,dez., 2010.

FRACAROLLI, Juliana Aparecida. **Levantamento das coordenadas espaciais de corpos vegetais associado ao mapeamento de bioatividade e cor**. 2014. 132 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP.

FRACAROLLI, Juliana Aparecida. **Utilização do biospeckle laser na avaliação do potencial germinativo de sementes de ipê-roxo (Tabebuia heptaphylla) (Vellozo) Toledo**. 2011. 86 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP.

GRANSHAW, SI; FRASER, CS. **Editorial: Computer vision and photogrammetry: Interaction or introspection?** Photogrammetric Rec. 2015;30(149):3–7.

LEVOY, Marc; WHITTED, Turner. **The Use of Points as a Display Primitive**. Computer Science Department University Of North Carolina: Chapel Hill, Nc 27514, 2000.

PAVARIN, Fernanda Fernandes Adimari. **Reconstrução Tridimensional de Tomates com Integração de dados de Biospeckle Laser**. 2020. 93 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP.

SANTOS, Thiago Teixeira et al. **Automatic grape bunch detection in vineyards based on affordable 3D phenotyping using a consumer webcam**. Campinas - Sp: Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroinformática (sbiagro 2017), 2017.

SANTOS, Thiago T.; OLIVEIRA, Alberto A. de. **Image-based 3D digitizing for plant architecture analysis and phenotyping**. Campinas - Sp, Brazil: Brazilian Agricultural Research Corporation - Embrapa, 2012. 27 v.

SANTOS, Thiago T.; RODRIGUES, Gustavo C. **Flexible three-dimensional modeling of plants using low resolution cameras and visual odometry**. New York, USA: Machine Vision and Applications, 2015.

SILVA JÚNIOR, Natanael Dias da. **Visualizador de Imagens e Vídeos para Nuvem de Pontos**: Monografia apresentada como requisito parcial para conclusão do Curso de Computação — Licenciatura. Brasília: 2016.

SIQUEIRA, H.H., VILAS BOAS, B.M., JOSÉ DANIEL SILVA, J.D., NUNES, E.E., LIMA, L.C.O., SANTANA, M.T.A. **Armazenamento de morango sob atmosfera modificada e refrigeração**. Ciência e Agrotecnologia, vol. 33, no.sp. Lavras 2009.

TURNBULL, C. G. N., **Plant architecture and its manipulation, ser**. Annual plant reviews. Blackwell, 2005, no. v. 17. [Online].

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **United States Standards for Grades of Fresh Tomatoes**. [s. l.]: USDA, 1991.