



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola

Guilherme Francisco Plana Servilha

3DMCAP para obtenção do fenótipo 3D de frutos.

Campinas
2019



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola

Guilherme Francisco Plana Servilha

3DMCAP para obtenção do fenótipo 3D de frutos.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Agrícola** à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

Orientador(a): Profa Dra. Juliana Aparecida Fracarolli

Campinas

2019



Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

Se69t Servilha, Guilherme Francisco Plana, 1992-
3DMCAP para obtenção do fenótipo 3D de frutos / Guilherme Francisco Plana
Servilha. – Campinas, SP : [s.n.], 2019.

Orientador: Juliana Aparecida Fracarolli.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Visão computacional. I. Fracarolli, Juliana Aparecida, 1984-. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Informações adicionais, complementares

Título em outro idioma: 3DMCAP to obtain the 3D phenotype of fruits

Palavras-chave em inglês:

Computer vision

Titulação: Engenheiro Agrícola

Banca examinadora:

Fernanda Fernandes Adimari Pavarin

Thiago Teixeira Santos

Data de entrega do trabalho definitivo: 28-06-2019



3DMCAP para obtenção do fenótipo 3D de frutos.

Guilherme Francisco Plana Servilha

BANCA EXAMINADORA

.....

Profa Dr. Juliana Aparecida Fracarolli
Orientadora

.....

Profa. Fernanda Fernandes Adimari Pavarin

.....

Prof. Dr. Thiago Teixeira Santos



DEDICATÓRIA

Aos meus familiares, em especial minha mãe e namorada, amigos e professores, que durante toda esta jornada estiveram ao meu lado e me incentivaram para concluir mais uma etapa em minha vida.



“O próprio Senhor irá a sua frente e estará com você.” A meu pai em especial, não presente em estado físico, mas sempre em meu coração.



RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia de visão computacional para a reconstrução 3D e obtenção do volume de um fruto, com uso de uma webcam de alta definição e baixo custo, o software 3DMCAP e o MeshLab. O 3DMCAP combina componentes de odometria visual e visão estéreo por múltiplas imagens para criar uma nuvem densa de pontos tridimensionais e o MeshLab é um software que engloba ferramentas de processamento e edição de malhas 3D. Foram realizadas as aquisições de imagens com o auxílio da webcam comercial e o 3DMCAP, que na sequência gerou a nuvem de pontos tridimensionais que foram exportados ao MeshLab. Neste, foram empregadas ferramentas de edição da malha com o objetivo da redução dos pontos não correspondentes ao objeto em estudo e na sequência implementado o algoritmo de reconstrução de Poisson, que permitiu estimar a forma geométrica real do fruto e determinar valores de volume. Além do método de visão computacional, foram obtidos os volumes através da metodologia experimental e matemática, com base nos preceitos de Arquimedes e Pappus. Para o método matemático o volume da maçã foi aproximado por uma esfera, sendo que o raio foi obtido de duas diferentes maneiras, sendo elas, através do perímetro e com o uso de um paquímetro. Os valores obtidos foram comparados entre si, com o objetivo de avaliar a convergência do método computacional, que apresentou resultados satisfatórios. As diferenças médias em porcentagem entre os volumes obtidos pelo método matemático e experimental foram de 10,42% (raio através do perímetro) e 10,07% (raio através do paquímetro), já para o método de visão computacional a diferença apresentou um valor de 6,96%. Pontos para a redução do erro foram enumerados com o objetivo de auxílio a novos trabalhos na área.

Palavras chave: Visão computacional, 3DMCAP, odometria visual, MeshLab, Reconstrução de Poisson.



ABSTRACT

The present work has the objective shows a computational vision methodology for the 3D reconstruction and obtaining the volume of a fruit, using a webcam of high definition and low cost, software 3DMCAP and MeshLab. 3DMCAP combine visual odometry and multiple-view stereo components to create a dense three-dimensional points cloud and MeshLab is software that includes tools of processing and editing 3D meshes. Images were acquired with support of the commercial webcam and 3DMCAP, which made possible generated the three-dimensional points cloud that were exported to MeshLab. In this work, mesh editing tools were used with the purpose of reducing the points that not corresponding to the object under study and in the sequence was use the Poisson reconstruction algorithm, which allowed estimating the real geometric form of the fruit and calculating the volume values. In addition to the computer vision method, the volumes were obtained through the experimental and mathematical methodologies, based on the precepts of Archimedes and Pappus. For the mathematical method, the volume of the apple was approximated by a sphere, and the radius was obtained in two different ways, these being through the perimeter and using a pachymeter. The obtained values were compared with each other, in order to evaluate the convergence of the computational method, which presented satisfactory results. The mean differences in percentage between the volumes obtained by the mathematical and experimental method were 10.42% (radius through the perimeter) and 10.07% (radius through the pachymeter). For the computer vision method, the difference presented a value of 6.96%. Points to reduce the error were listed with the purpose of helping new jobs in this area.

Keywords: Computer vision, 3DMCAP, visual odometry, MeshLab, Poisson reconstruction.

LISTA DE FIGURAS/Ilustração

Figura 1.1. Classificação dos métodos de aquisição de formas (Adaptado de Alves, 2005).	2
Figura 2.1. Cálculo da área por aproximação de retângulos (Adaptado de Silva, Tognon & Brandão, 2007).	6
Figura 2.2. Relação entre gradiente da função indicadora e amostra de pontos (Junior, 2008).	9
Figura 3.1. Aproximação de uma maçã por uma esfera (Adaptado de Bassanezi, 2002).	10
Figura 3.2. Papel A4 padrão plastificado (Santos e Rodrigues, 2015).	14
Figura 3.3. Calibração da Câmera (Santos, 2018).	14
Figura 3.4. Aquisição de imagens da maçã.	15
Figura 3.5. Importação do arquivo de extensão .ply no MeshLab.	16
Figura 3.6. Ferramenta de seleção condicional.	17
Figura 3.7. Critério de seleção utilizado para retirada de pontos.	17
Figura 3.8. <i>Select Vertexes</i> e imagem da maçã.	18
Figura 3.9. Ferramenta <i>Show Vertex Normals</i>	18
Figura 3.10. Ferramenta <i>Compute normals for points sets</i>	19
Figura 3.11. Função de reconstrução de Poisson, disponível no MeshLab.	20
Figura 3.12. Malha gerada pela reconstrução de Poisson.	21
Figura 3.13. Parâmetro X Axis – <i>Transform Scale</i>	22
Figura 3.14. Volume – <i>Compute Geometric Measures</i>	22
Figura 4.1. Reconstrução de Poisson – Malha.	24



LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Número de frames (imagens) por aquisição.	23
Tabela 4.2. Raio através do perímetro e volume.	24
Tabela 4.3. Raio através do paquímetro e volume.	25
Tabela 4.4. Volume pelo método laboratorial.	25
Tabela 4.5. Volume pelo método computacional.	26



LISTA DE SIGLAS/ abreviatura

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

FEAGRI – Faculdade de Engenharia Agrícola

IAC – Instituto Agrônômico de Campinas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

SIDRA – Sistema de Recuperação Automática.

PMVS – Patched Based Multi-view Stereo

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

3DMCAP – 3-Demeter Capture.



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	4
1.2 OBJETIVOS.....	5
1.2.1 Objetivo Geral.....	5
1.2.2 Objetivos Específicos.....	5
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3 METODOLOGIA.....	10
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	23
5 CONCLUSÃO.....	29
REFERÊNCIAS.....	30

1. INTRODUÇÃO

Sistemas de visão computacional têm sido apresentados como uma alternativa promissora de obtenção de dados, sem que haja a danificação do produto, principalmente com o uso de imagens 2D. Já com a obtenção de imagens em 3D, é possível o desenvolvimento de metodologias de análise volumétrica que irão facilitar a interpretação das estruturas físicas e fisiológica dos frutos, o que talvez poderá vir a servir futuramente como base para parâmetros de qualidade em diversas situações (Jorge & Biscegli, 2007).

O termo visão computacional foi definido por Alves (2005), como conjunto de técnicas computacionais que possibilitam estimar formas geométricas e dinâmicas de situações tridimensionais, através de imagens. Tal preceito se equipara a própria visão humana, no qual a imagem é formada na mente através do conjunto de funções químicas, físicas e biológicas.

A evolução dos eletrônicos permite que sejam montados sistemas de aquisição de imagens com opções de baixo custo e a determinação de metodologias para tal, ganha cada vez mais espaço, sendo que, a escolha deve ter sempre em vista a utilização de tal método, visto que, cada um apresenta suas limitações, como por exemplo, resolução e precisão (Alves, 2005). As webcams apresentam-se como uma boa alternativa na etapa de aquisição, pois algumas delas apresentam uma boa taxa FPS (Frames Per Second) e um menor custo quando comparados a outros dispositivos mais sofisticados.

Na figura 1.1 estão demonstradas classificações de metodologias de aquisições, sendo que este trabalho tem como foco a metodologia óptica, mais precisamente a aquisição através de método óptico estéreo passivo, no qual, baseia-se para a formação da imagem, o preceito de triangulação, que para obtenção da posição de um ponto, utiliza a intersecção dos raios correspondentes a projeção na imagem. O termo visão passiva é melhor descrito na seção 2 deste trabalho.

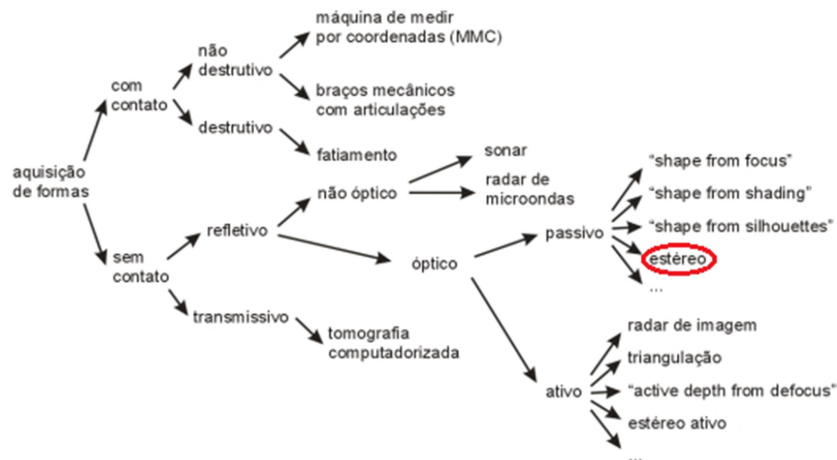


Figura 1.1. Classificação dos métodos de aquisição de formas.

Fonte: Adaptado de Alves, 2005.

Os sistemas de visão computacional podem ser empregados em diferentes campos, como por exemplo, medicina, robótica, astronomia, agricultura, dentre vários outros. O setor agrícola necessita cada vez mais de tecnologias que possam melhorar a cadeia de produção, sendo que o hortifrúti carece de tal ponto. Neste estudo, será utilizada a maçã como forma geométrica para aquisição de imagens, a mesma pertence à família Rosacea, que é um grupo botânico com um grande número de espécies, com diferentes tipos de gêneros. Segundo Petri e Leite (2008) a macieira é pertencente à subfamília Maloidae (Pomoidae) do gênero *Malus* e sua primeira denominação da espécie válida publicada é de *Malus domestica*.

Frutífera originária de regiões de clima temperado tem suas origens nas montanhas do Cáucaso, Oriente Médio e Leste Asiático (IAC, 1998), sendo um cultivar exigente em tratamentos culturais, em especial, fitossanitários. No Brasil, estima-se que o início da cultura ocorreu por volta de 1926, na região de Valinhos, São Paulo, porém em escala comercial pode-se dizer que se iniciou no final da década de 60 e início de 70 (Petriz & Leite, 2008).

Segundo dados do IBGE, a produção do Brasil no ano de 2017 foi de 1,3 milhões de toneladas, sendo a região Sul responsável por praticamente a totalidade da produção, tendo destaque, os estados de Santa Catarina (679.836 toneladas) e Rio Grande do Sul (577.774 toneladas), como os maiores produtores. Ainda como fonte o Sistema de Recuperação Automática (SIDRA, IBGE), a área plantada vem reduzindo ao longo dos

últimos três anos, porém no ano de 2017 o rendimento da produção chegou a 39 t/ha e superou os dados dos dois anos anteriores de 35 e 30 t/ha respectivamente.

De acordo com o Relatório do Cenário do Hortifruti no Brasil, as frutas e hortaliças são responsáveis pela geração de muitos empregos, em especial o setor de fruticultura, que em 2018 possuía seis milhões de trabalhadores em uma área de 2,4 milhões de hectares. Além disso, as frutíferas apresentam grandes quantidades de nutrientes que são extremamente importantes para a saúde em geral.

Desenvolvimento de novos estudos e tecnologias que irão proporcionar facilidades, tanto na cadeia de produção, como posteriormente, são de grande importância, visto que os consumidores tem sofrido uma rigorosa mudança de hábitos no decorrer dos últimos anos, que refletem diretamente na busca por maior qualidade (Rodrigues, Filho, & Jorge, 2013). Devido a isto, o desenvolvimento de máquinas e sistemas computacionais, que buscam a classificação dos frutos através de métodos não destrutivos está cada vez mais difundido, ou seja, a busca por automatização nos processos pós-colheita é um assunto de extrema importância para este setor.

Características físicas, como por exemplo, volume, densidade e massa, ao serem determinadas de formas mais rápidas e automatizadas, podem proporcionar um ganho de produção e logística significativo, o que irá impactar diretamente em qualidade e preço.

Para a determinação de um volume de um sólido (maçã), podem ser usadas diferentes metodologias, dentre estas: Empírica, Matemática e Computacional.

- Empírica: baseada no princípio de Arquimedes ou também conhecida como Lei do empuxo, este método consiste em um experimento laboratorial, com o uso de uma proveta graduada, no qual será introduzido um volume inicial conhecido de água e em seguida introduzido o sólido que irá causar uma variação de volume devido à força de empuxo, a partir disto é determinada esta variação e obtido o volume do sólido.
- Matemáticas: Devido à maçã, assim como outros frutos, possuem formato que se equipara a uma esfera, pode aproximar-se o volume através da seguinte equação matemática:

$$V (cm^3) = \frac{4*\pi*Raio^3}{3}$$

- Computacional: através da obtenção de dados e uso de algoritmos que irão auxiliar na reconstrução do sólido (fruto) e posterior determinação de volume. Este método será melhor caracterizado e avaliado no decorrer do estudo.

De acordo com argumentação descrita anteriormente, o objetivo deste estudo foi avaliar a estrutura fenotípica para a Maçã, baseado na metodologia utilizada por Santos et al (2017), no qual foi utilizada uma webcam convencional para a obtenção de imagens 3D do fruto, sendo que, a nuvem de pontos foram produzidas utilizando um software 3DMCAP desenvolvidos pelos pesquisadores Thiago Teixeira Santos, Luís Henrique Bassoi, Henrique Oldoni e Roberto Luvisutto Martins, que combina múltiplas visões e odometria visual que resulta em uma grande quantidade de pontos (nuvem de pontos) e a partir disto, foram utilizados algoritmos que auxiliaram a reconstrução da maçã e obtenção do volume do fruto.

Além deste método de obtenção de volume, foram realizados os métodos empíricos e matemáticos mencionados anteriormente, sendo que os resultados finais foram comparados entre si com o objetivo de avaliar se o método computacional apresentou um grau de confiabilidade satisfatório.

1.1 JUSTIFICATIVA

Devido os sistemas de visão computacional e algoritmos de classificação estarem sendo amplamente discutidos e pesquisados em diversas áreas hoje em dia, o assunto também merece uma atenção especial para a fruticultura, sendo que este estudo poderá vir a auxiliar pesquisas futuras e até mesmo empresas que buscam implementar em sua cadeia de produção maior grau tecnológico e automatização, lembrando apenas, que este trabalho servirá de introdução para estes casos e maiores informações e pesquisas são necessárias para o desenvolvimento de novas tecnologias.

1.2 OBJETIVOS

Esse trabalho buscou analisar as diferentes metodologias para a determinação de volume de um sólido, neste caso a maçã e a partir disto verificar se o modelo computacional com auxílio de obtenção de imagens 3D do fruto é capaz de convergir para valores confiáveis. Espera-se que este estudo possa vir a contribuir com novas pesquisas de desenvolvimento nesta área, levando os produtores e empresas envolvidas na cadeia de Fruticultura e Hortaliças a repensar métodos de classificação e logísticas, auxiliando no ganho de tempo, qualidade e preço.

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a eficácia da obtenção de imagens 3D de maçãs e modelos de visão computacional para a determinação de volume.

1.2.2 Objetivos específicos

- Discorrer de maneira sucinta sobre visão computacional, a cultura da maçã e a fruticultura em geral;
- Avaliar a qualidade de obtenção de imagens 3D através do software 3dmcap;
- Aplicar metodologia empírica e matemática para obtenção de volume dos sólidos;
- Avaliar modelo de visão computacional (nuvem de pontos) através do software MeshLab para obtenção do volume dos sólidos;
- Comparar método de visão computacional com as outras metodologias e determinar o grau de confiabilidade do modelo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para auxiliar no entendimento deste trabalho, torna-se necessário uma revisão sobre conceitos de volume através de demonstrações matemáticas, o Teorema de Pappus e uns dos princípios da hidrostática, inicialmente introduzidos por Arquimedes. Após tais revisões, será descrito de maneira mais aprofundada os sistemas de visão computacional, o software 3dmcap e a metodologia de reconstrução através de algoritmo.

A derivada e integral são duas noções básica do cálculo, sendo que do ponto de vista geométrico, o cálculo da derivada consiste basicamente em traçar a reta tangente a

uma curva, e a integral está relacionada com a determinação da área de certas figuras planas através da subdivisão do intervalo (Silva, Tognon, & Brandão, 2007).

A ideia básica do conceito de integral é exaurir determinado intervalo de área desconhecida, ou seja, subdividir em subintervalos em aproximação por retângulos, que por sua vez possuem uma área de fácil determinação e assim podemos aproximar a real área da figura, como demonstrado na figura 2.1.

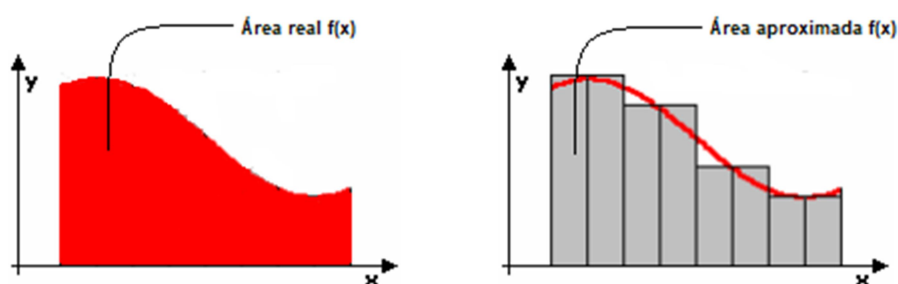


Figura 2.1. Cálculo da área por aproximação de retângulos

Fonte: Adaptado de Silva, Tognon & Brandão, 2007.

Através da integral é possível determinarmos o centroide de uma figura, demonstração que não vem ao caso neste estudo, porém foi a partir deste fundamento que o matemático grego, Pappus de Alexandria descreveu dois teoremas que relacionaram centroides com sólidos e superfícies de revolução (Silva, Tognon, & Brandão, 2007).

A partir de tal conceito e deduções geométricas feitas pelo matemático Arquimedes, foi possível a demonstração matemática que descreve o volume da esfera, que posteriormente neste trabalho será utilizada para o cálculo do volume de maçãs. Abaixo segue o método para obtenção da equação de volume:

$$x^2 + y^2 = a^2 \rightarrow y = \sqrt{a^2 - x^2} \rightarrow V = 2 \int_0^a \pi(a^2 - x^2)dx = 2\pi \left(a^2x - \frac{x^3}{3} \right) \Big|_0^a = \frac{4\pi a^3}{3}$$

Onde:

a = raio da esfera

Demonstrado de maneira sucinta a forma matemática para a obtenção do volume de uma esfera. Neste momento será introduzido o conceito sobre o método empírico, ou seja, através de procedimentos experimentais para o cálculo de volume.

Apenas em caráter de contextualização para o método empírico, será abordado alguns pontos sobre Arquimedes e uns dos princípios da hidrostática introduzido pelo matemático.

Arquimedes viveu de 287 a 212 a.C., em sua maior parte em Siracusa, que nesta época fazia parte de Grécia (Assis, 2008). Após ser solicitado pelo o rei a resolver um problema que mais tarde viria a ser chamado de “o problema da coroa”, deu início a um dos principais princípios da hidrostática, o empuxo.

O princípio de Arquimedes pode ser enunciado da seguinte forma:

“Todo corpo mergulhado num fluido fica submetido a uma força (empuxo) de baixo para cima igual ao peso do volume de fluido deslocado pelo corpo e cuja direção passa pelo ponto onde se encontrava o centro de gravidade do fluido deslocado” (Guimaraes, 1999, p. 171).

Com base em tal preceito, e não aprofundando em demonstrações matemáticas, devido ao objetivo deste trabalho, foram realizados experimentos laboratoriais com diferentes amostras de maçãs e assim determinados os respectivos volumes a partir da variação de volume inicial. Posteriormente, na seção de metodologia, será melhor descrito o procedimento laboratorial.

Além destes preceitos citados anteriormente para o cálculo de volume, foi utilizada também a obtenção de imagens 3D com o objetivo de gerar uma nuvem de pontos para o fruto e assim ser possível estimar o volume e comparar com os métodos anteriores. Este assunto será abordado com maior quantidade de detalhes devido tratar-se do objetivo principal deste trabalho.

Para o auxílio da compreensão deste trabalho torna-se necessário o entendimento básico sobre visão ativa e visão passiva, no qual de acordo com Beltran e Basañez podem ser definidas da seguinte forma:

- Visão ativa é caracterizada pelo uso de uma fonte e emissão de energia controlada, como por exemplo, um laser de varredura ou uma projeção de luz que se move em torno de um objeto com o objetivo de obter a superfície do objeto através do princípio de triangulação.
- Visão passiva não utiliza a emissão de energia controlada como princípio de obtenção de imagens 3D, para tal, são utilizados com base para a triangulação o objeto e sensores.

Segundo Santos e Rodrigues (2016), nos últimos anos, alguns autores tem proposto o uso de algoritmos de múltiplas visões, também conhecidos como PMVS, para a reconstrução tridimensional com o uso da visão passiva. Este modelo baseia-se na criação de uma nuvem densa de pontos, no qual são alternadas as etapas de filtragem e expansão. A expansão consiste basicamente em adicionar maior número de pontos à superfície observada pela câmera e a filtragem em delimitar os limites de contornos visuais e determinar uma forma de regularização, sendo que os dados de entrada para tal algoritmo são um conjunto de imagens e suas respectivas matrizes.

- **3dmcap**

Baseado em tal preceito, o software 3dmcap, (desenvolvido pelos pesquisadores Thiago Teixeira Santos, Luís Henrique Basso, Henrique Oldoni e Roberto Luvisutto Martins) utilizado neste estudo, obtém, através de uma webcam comercial, imagens (frames) de diferentes pontos do objeto e através disto gera os arquivos necessários para executar o algoritmo de PMVS (Santos, 2018). Este modelo criará a nuvem de pontos e armazenará com um arquivo PLY que será executado no software Meshlab.

- **Meshlab**

O software open source MeshLab, é utilizado para o processamento e edição de malhas triangulares, o mesmo fornece ferramentas de edição, limpeza, renderização, texturização, conversão de malhas e reconstrução, esta última ferramenta será utilizada no estudo e melhor detalhada (Cignoni & Ranzuglia, 2019).

Reconstrução de Poisson

A reconstrução através de Poisson consiste na abordagem de que o campo normal de um sólido pode ser interpretado como função indicadora do gradiente do sólido. Assim, dado um conjunto de pontos orientados, é possível estabelecer uma malha de reconstrução através do campo vetorial 3D e encontrar função escalar cujos gradientes melhor correspondam ao vetor campo, e assim estabelecer a superfície apropriada (Kazhdan & Hoppe, 2013).

Uma função indicadora pode ser descrita simplesmente como uma função que possui valor zero para fora da superfície e valor um para pontos internos, isto significa que o gradiente da função indicadora é zero para todos os valores fora da superfície (Junior, 2008).

Ainda de acordo com Kazhdan & Hoppe (2013), podemos considerar os pontos obtidos através da nuvem de pontos como uma amostragem do gradiente da função indicadora, o que reduz o problema a encontrar a função cujo gradiente corresponde os pontos de entrada. A figura 2.2 demonstra de forma mais clara o que foi descrito anteriormente:

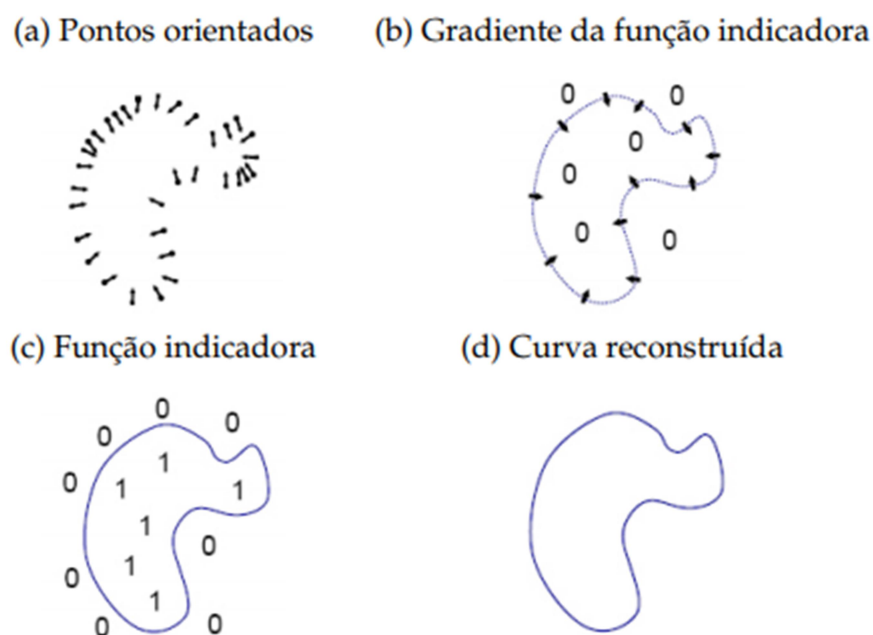


Figura 2.2. Relação entre gradiente da função indicadora e amostra de pontos.

Fonte: Junior, 2008.

O software Meshlab possui a função de reconstrução de Poisson pré-estabelecida e na seção de metodologia será melhor descrito como tal foi utilizada e como foi obtido o volume pelo método.

3. METODOLOGIA

Com base nos preceitos estabelecidos na seção 2 deste estudo, foram realizados os procedimentos matemáticos e empíricos que serão descritos na sequência:

Procedimento matemático – volume da esfera

A partir da demonstração simplificada do teorema de Pappus, que possibilitou a obtenção do volume de uma esfera (equação 1) e devido a maçã possuir um formato geométrico semelhante ao da esfera (figura 3.1), foram realizados os seguintes procedimentos para o cálculo.

$$V_{esfera} = \frac{4\pi a^3}{3} \quad (1)$$

Onde:

a = raio da esfera

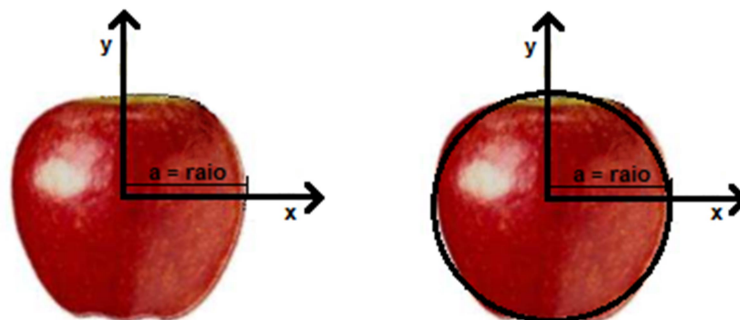


Figura 3.1. Aproximação de uma maçã por uma esfera.
Fonte: Adaptado de Bassanezi, 2002.

Método 1 – Raio através do perímetro.

Para realização do procedimento foram utilizados os seguintes materiais:

- Maçã;
- Régua;
- Barbante;
- Software Excel.

Com o uso do barbante e da régua foram medidos os perímetros das maçãs, sendo que para cada maçã foi determinado três medidas diferentes e a partir disso calculado o raio equivalente. Abaixo, na equação 2 e 3 é possível observar o método de obtenção do raio.

$$P_{\text{equivalente}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3} \quad (2)$$

$$P_{\text{equi}} = 2\pi a \therefore a = \frac{P_{\text{equi}}}{2\pi} \quad (3)$$

Onde:

a = raio da esfera

Depois de realizadas as três medidas, foram calculados os raios equivalentes e o volume através da equação 1.

Método 2 – Raio através de um paquímetro.

Para realização do procedimento foram utilizados os seguintes materiais:

- Maçã;
- Paquímetro;
- Software Excel.

Semelhante ao processo de obtenção do raio pelo perímetro, descrito anteriormente, para este método foi utilizado um paquímetro, no qual foram realizadas três medidas para o diâmetro de cada maçã, e assim, foram realizados os cálculos das médias para determinar os valores dos raios equivalentes. As equações 4 e 5 descrevem o procedimento.

$$D_{\text{equivalente}} = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3} \quad (4)$$

$$a = R_{\text{equivalente}} = \frac{D_{\text{equivalente}}}{2} \quad (5)$$

Após calculados os raios equivalentes foram determinados os volumes através da equação 1.

Procedimento empírico – volume da maçã através da variação coluna d'água

Com base no preceito de Arquimedes, mencionado na seção 2 deste estudo, foi realizado um procedimento experimental com as amostras com os seguintes materiais e métodos:

Materiais:

- Maçã;
- Proveta graduada;
- Água.

Método experimental:

Foi adicionado um volume inicial conhecido de água na proveta graduada e em seguida foram submersas as amostras. Após isso foram anotados os volumes finais com os corpos submersos e para o cálculo do volume da maçã foi utilizada a equação 6.

$$V_{\text{maçã}} = V_{\text{final}} - V_{\text{inicial}} \quad (6)$$

Para cada amostra foram realizados três experimentos, variando o volume inicial, conforme os valores abaixo:

$$V_{\text{inicial1}} = 1000\text{ml}$$

$$V_{\text{inicial2}} = 1500\text{ml}$$

$$V_{\text{inicial3}} = 1800\text{ml}$$

Foram realizados três experimentos para cada amostra com o objetivo de reduzir o erro experimental. Após realizados os experimentos com todas as amostras foram obtidos os volumes.

Este método por mais simples que pareça, fornece os melhores resultados para este tipo de corpo (sólido irregular).

Procedimento computacional – volume da maçã através de visão computacional

Com base na metodologia proposta por Santos e Rodrigues (2016), o procedimento a seguir utiliza uma webcam comercial de alta definição e baixo custo (a Logitech ® c920), juntamente com os softwares 3DMCAP e MeshLab, para a reconstrução 3D de um fruto. Abaixo está descrito de maneira detalhada os materiais utilizados, assim como a metodologia empregada para a obtenção dos resultados.

Materiais – Aquisição de imagens e reconstrução

Para realizar a aquisição de imagens, foram utilizados os seguintes materiais e softwares:

- Maçã;
- Papel A2 Branco;
- 1 Motor síncrono 110v;
- Papel A4 com impressão padrão (Figura 3.2);
- Papel A4 para calibração da Webcam;
- Webcam Logitech ® c920;
- Notebook HP Intel Core™ i3;
- Software 3DMCAP.
- Software MeshLab
- Sistema Operacional Linux – Ubuntu 16.04

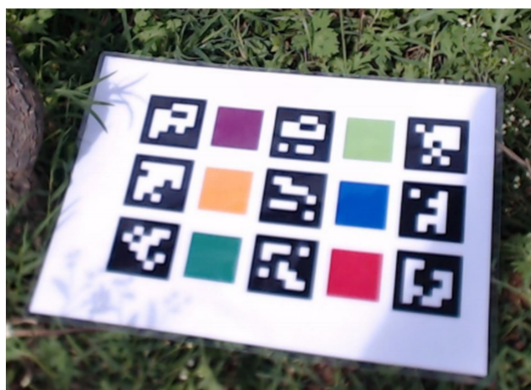


Figura 3.2. Papel A4 padrão plastificado.

Fonte: Santos e Rodrigues, 2015.

Procedimento – Instalação e aquisição de imagens

Com o auxílio do manual de instalação e calibração disponibilizado pelo pesquisador Dr. Thiago Santos, disponível no portal da EMBRAPA (3DMCAP Documentation, Release 1.0), foi instalado o software 3DMCAP no sistema operacional Linux – Ubuntu 16.04, conforme descrito no procedimento 1.4 – Building 3dmcap from sources do manual e em seguida, foi realizada a calibração da câmera (figura 3.3).

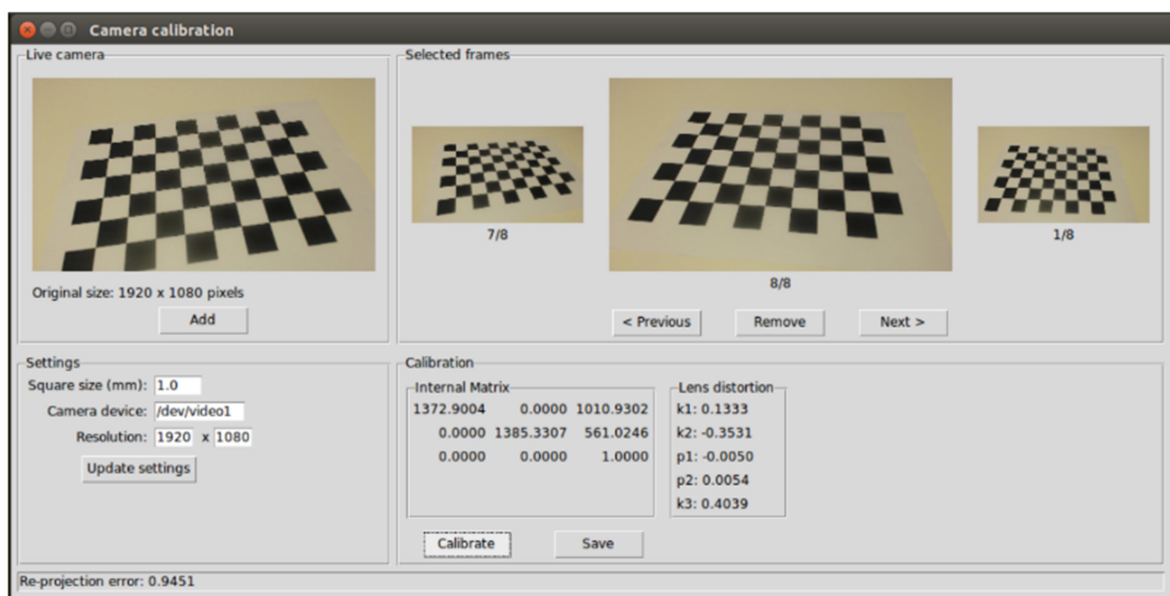


Figura 3.3. Calibração da Câmera.

Fonte: Santos, 2018.

Para a realização da aquisição de imagens foi montado um cenário, no qual o objetivo foi minimizar os efeitos de bordas, portanto o papel A2 branco foi utilizado para tal fim, além disso, preocupou-se em fornecer a iluminação adequada para a aquisição de imagens, ou seja, fornecer a quantidade de luz suficiente para boa qualidade e também se atentou ao posicionamento do foco de luz para evitar a interferência de sombras. Em seguida, com o auxílio do motor síncrono e do papel A4 padrão (figura 3.2), foi montada uma mesa giratória com o fruto centralizado e posicionada a webcam fixa na diagonal superior, e com o uso do software 3DMCAP foram realizadas as aquisições de imagens, conforme demonstrado na figura 3.4.

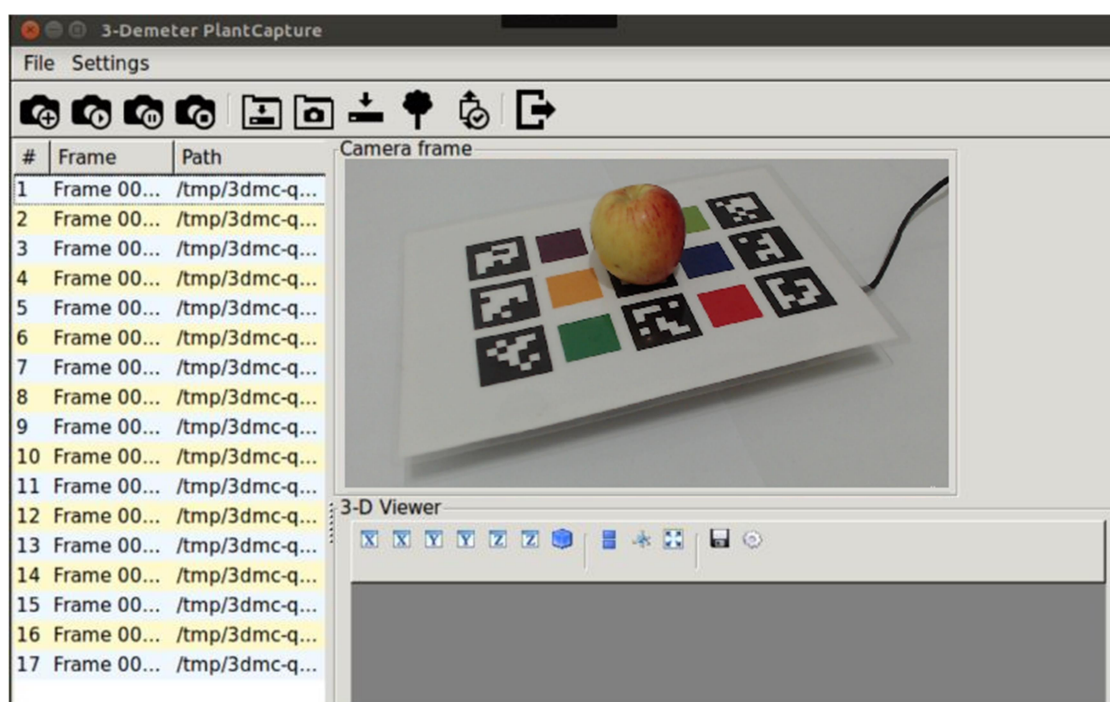


Figura 3.4. Aquisição de imagens da maçã.

Após realizada a aquisição das imagens, foi utilizada a ferramenta *Export files to MVS subsystem* que é responsável pela criação dos arquivos necessários pelo PMVS para executar o algoritmo de múltiplas visões, em seguida, utilizou-se a ferramenta *Start 3D Reconstruction* para inicializar o PMVS e gerar a nuvem de pontos da imagem. O arquivo com extensão .ply gerado foi salvo em um diretório específico (escolhido pelo usuário), através da ferramenta *Save captures files to a new directory* e este foi importado no MeshLab para a reconstrução que será descrita a seguir.

Procedimento – Reconstrução do sólido

O arquivo com extensão .ply gerado através do software 3DMCAP, salvo na pasta pmvs → models, foi importado no MeshLab (figura 3.5) e verificada a qualidade da obtenção de imagens, sendo que as mesmas apresentaram um baixo nível de ruídos e uma nuvem de pontos bem estruturada, portanto foram realizados os procedimentos para a reconstrução do sólido.

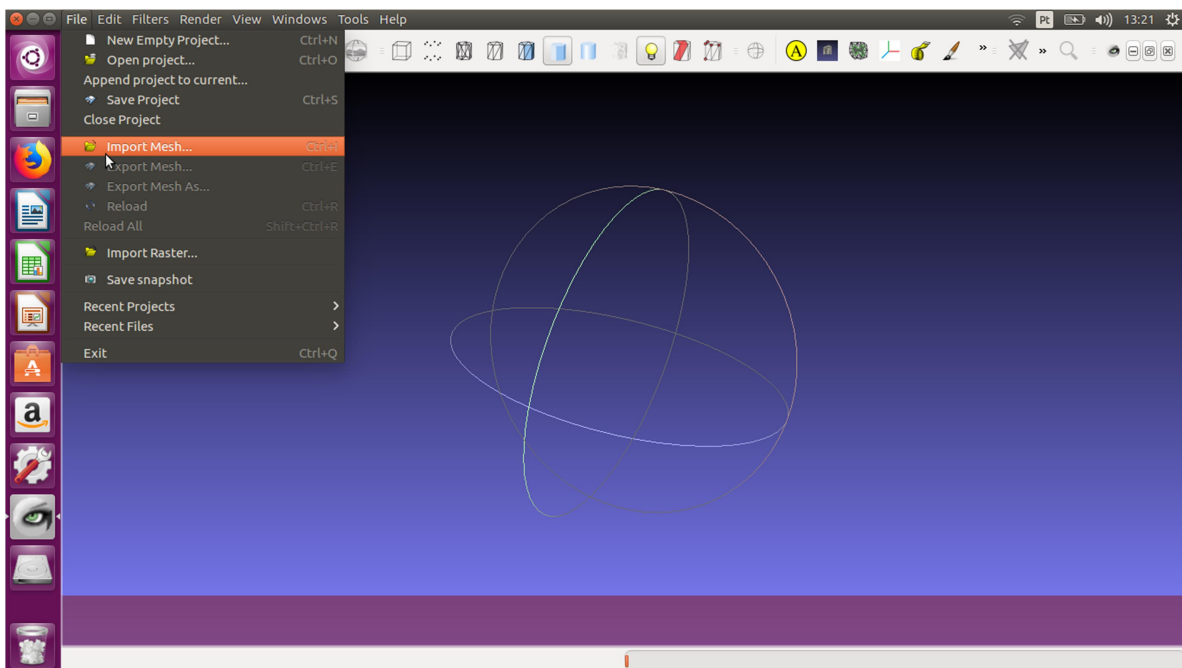


Figura 3.5. Importação do arquivo de extensão .ply no MeshLab.

A nuvem de pontos importada, além do sólido (maçã), também possuía pontos referentes à folha padrão utilizada como base para o software 3DMCAP, sendo assim, foi utilizada a ferramenta de seleção através de condições específicas (figura 3.6) para a retiradas dos pontos que não se referem à maçã.

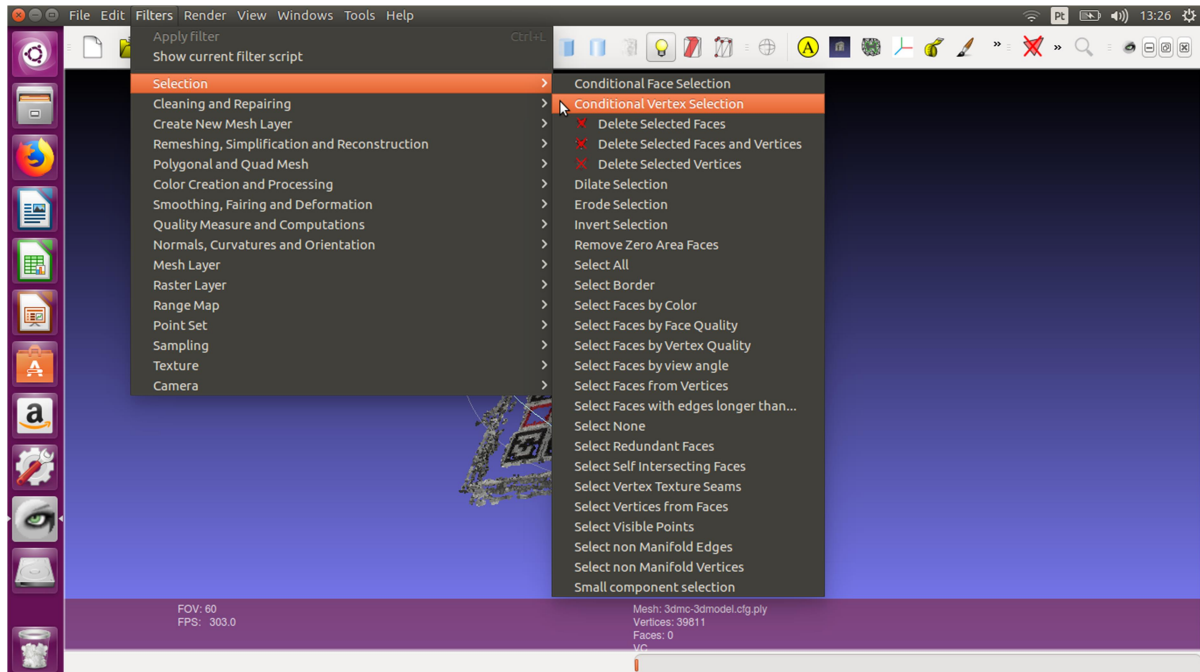


Figura 3.6. Ferramenta de seleção condicional.

O critério utilizado como condição para seleção neste caso foi o RGB, que permitiu selecionar pontos com valores diferentes ao do sólido (figura 3.7) e assim, retirar estes da imagem. Apenas como caráter de informação, esta ferramenta do software permite utilizar outros critérios como seleção além do RGB.

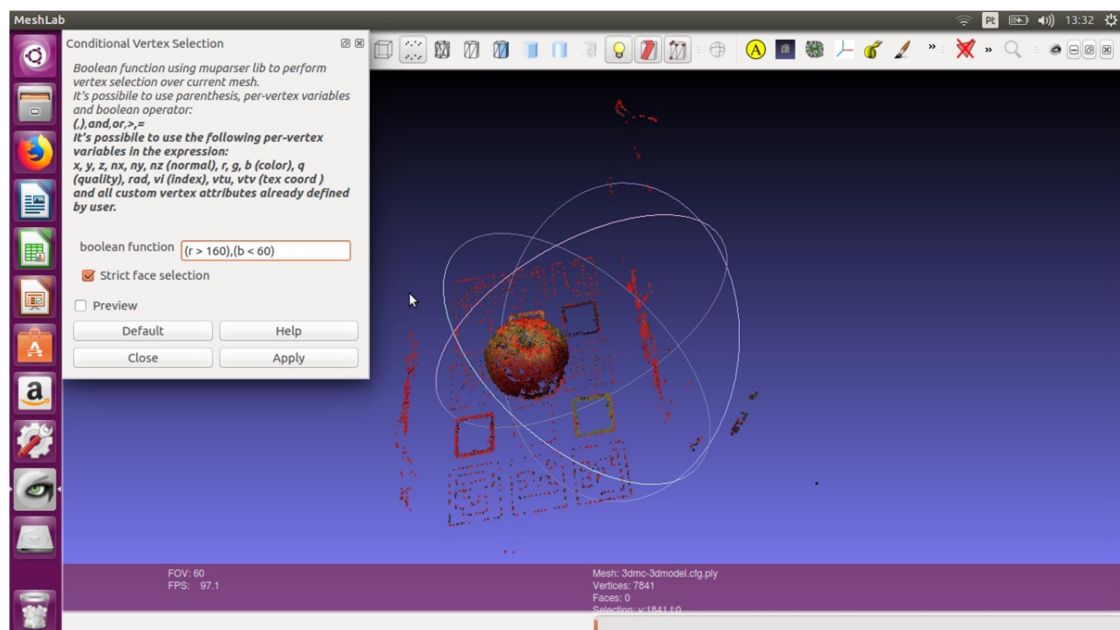


Figura 3.7. Critério de seleção utilizado para retirada de pontos.

Os pontos que não forem selecionados com o auxílio da ferramenta de seleção condicional, podem ser selecionados com auxílio do *Select Vertexes*, sendo que a imagem limpa, juntamente com a ferramenta mencionada, está demonstrada na figura 3.8:

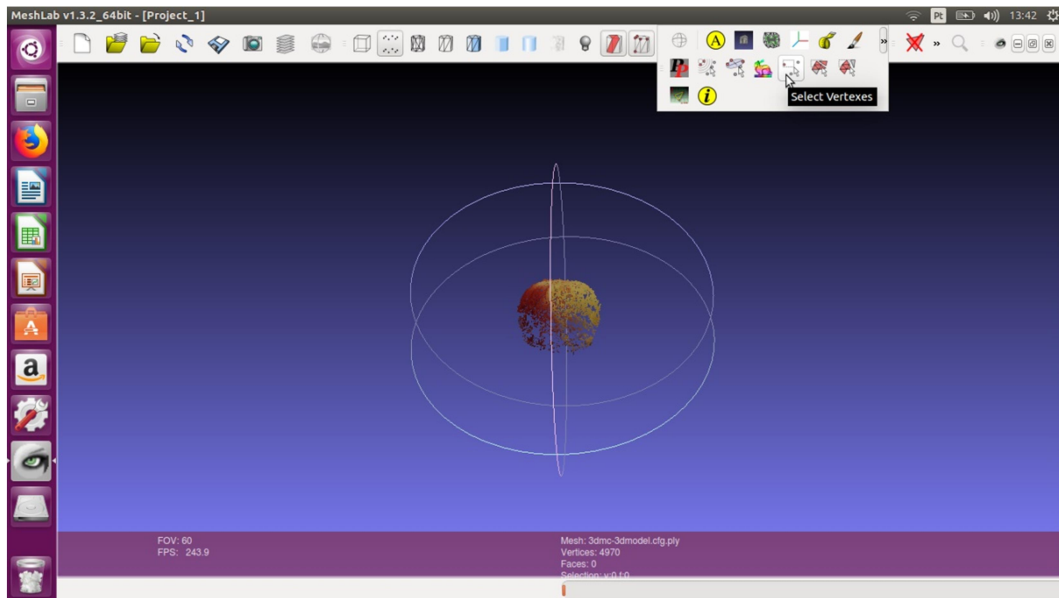


Figura 3.8. Select Vertexes e imagem da maçã.

Na sequência foram realizadas as normalizações da figura, etapa que auxiliou na minimização de erros da reconstrução. Para tal, primeiramente foi selecionada a ferramenta *Show Vertex Normals* (figura 3.9), que permitiu visualizar as normais dos pontos.

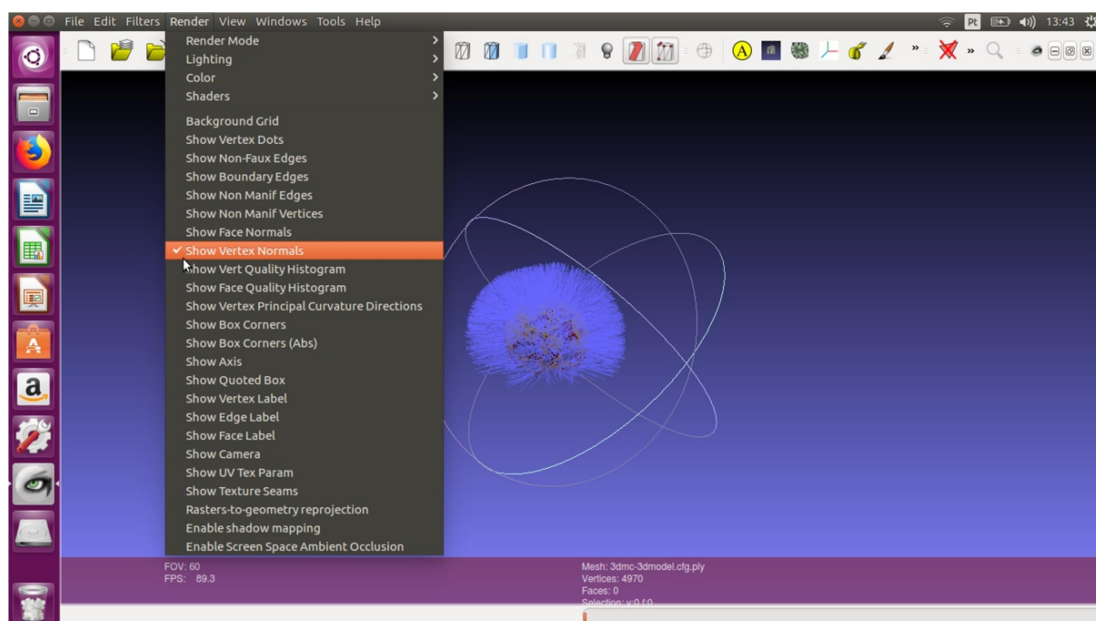


Figura 3.9. Ferramenta *Show Vertex Normals*.

Utilizou-se a ferramenta *Compute normals for points sets*, que através da vizinhança de pontos irá buscar estimar a forma da figura. É possível alterar somente um valor para tal ferramenta, sendo que, este varia de acordo com a geometria e referência do ponto de visão utilizada. O parâmetro escolhido para este caso foi 360, conforme figura 3.10:

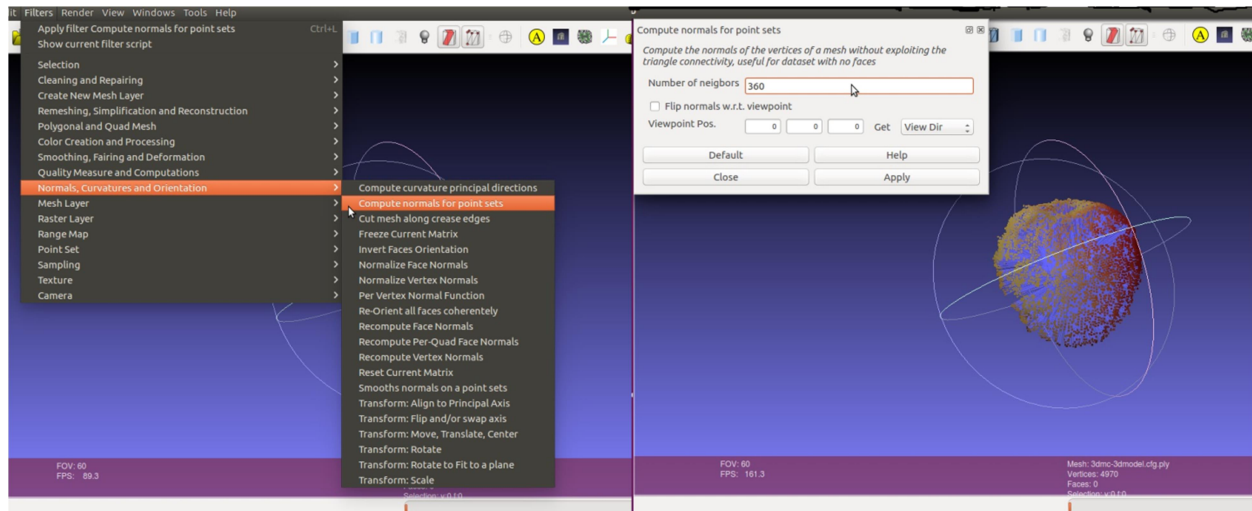


Figura 3.10. Ferramenta *Compute normals for points sets*.

Após realizada a exclusão de pontos que não correspondiam ao fruto em análise e a reestruturação das normais da figura, foi implementado o algoritmo de reconstrução de Poisson, disponível no Meshlab (figura 3.11). A explicação conceitual a respeito desta função de reconstrução encontra-se na seção 2 deste trabalho, sendo que, pode ser melhor compreendida na obra de Kazhdan & Hoppe, 2013.

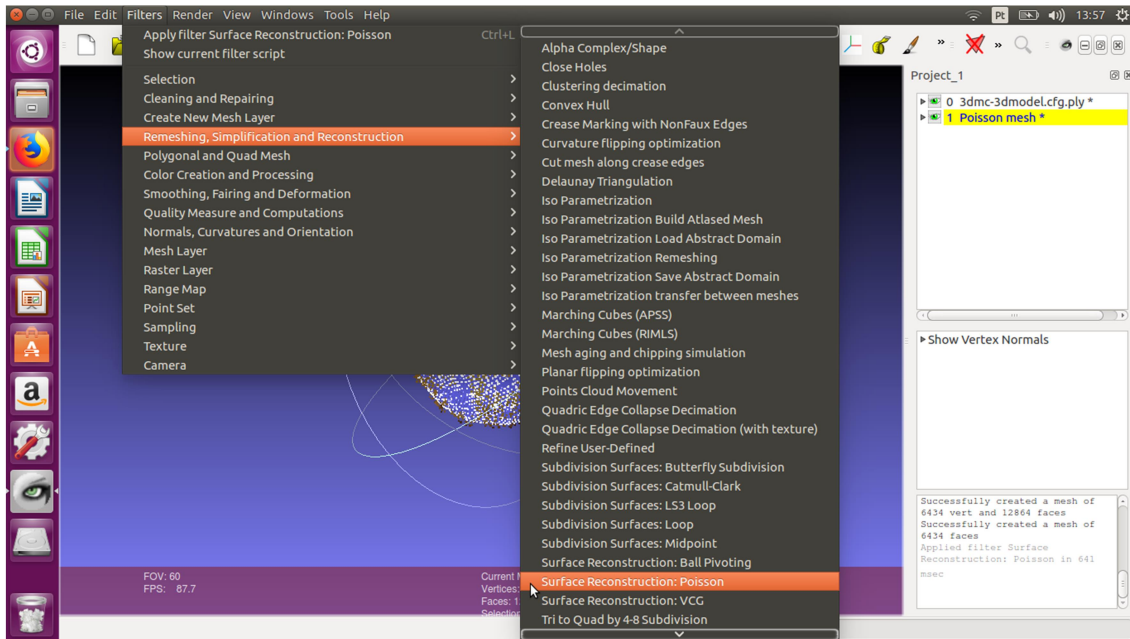


Figura 3.11. Função de reconstrução de Poisson, disponível no MeshLab.

Os parâmetros utilizados para a reconstrução de Poisson foram:

- Octree Depth: 7
- Solver Divide: 6
- Samples Per Node: 1
- Surface Offsetting: 1

A reconstrução gerou uma malha densa de pontos, que aproximou-se do formato real do fruto (figura 3.12).

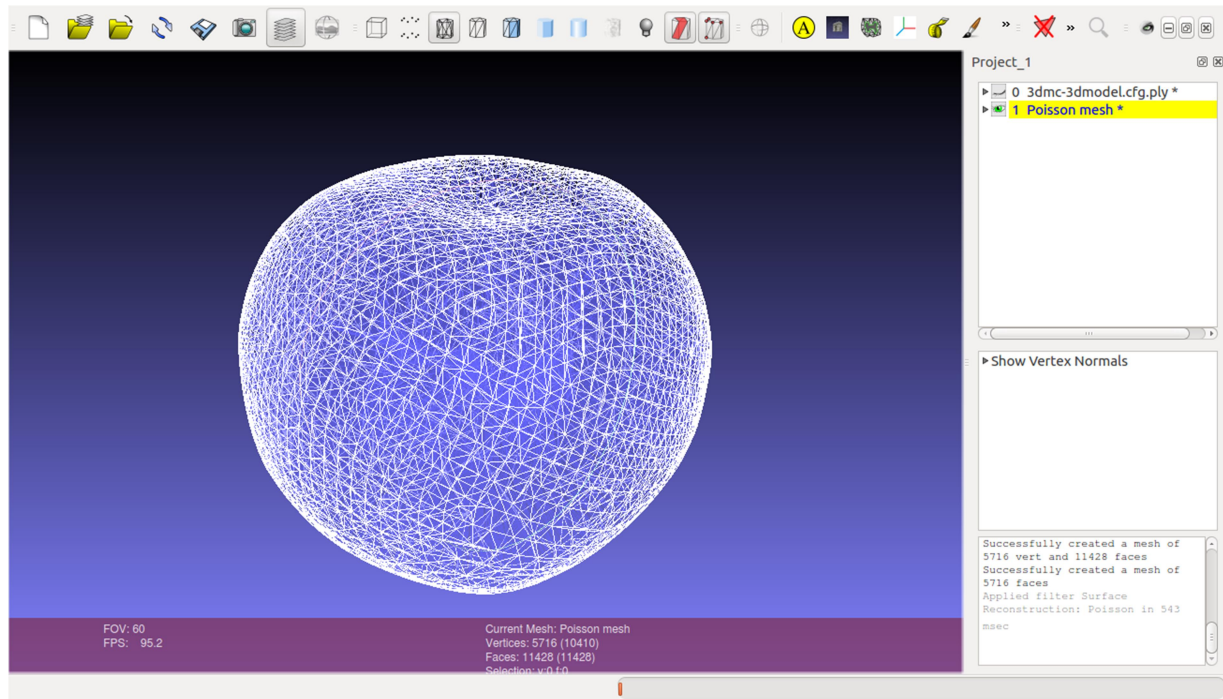


Figura 3.12. Malha gerada pela reconstrução de Poisson.

Devido à imagem não estar em escala, a ferramenta *Transform Scale* possibilitou que as medidas fossem corrigidas para os valores reais. Para isto, foram utilizados os valores obtidos através do paquímetro e a ferramenta de medir distâncias do Meshlab, sendo que para obter a taxa de proporção (X axis) foi utilizada a equação 7.

$$X \text{ Axis} = \frac{\text{Diâmetro Real Maça}}{\text{Diâmetro Meshl}} \quad (7)$$

O valor obtido foi substituído como parâmetro na ferramenta, conforme demonstra a figura 3.13 e na sequência foi obtido o volume com o uso da função *Compute Geometric Measures* (figura 3.14).

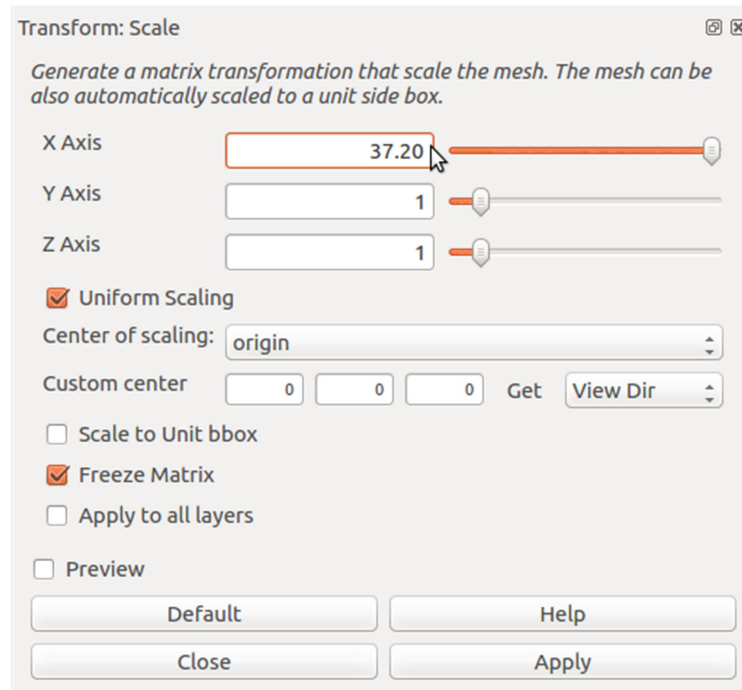


Figura 3.13. Parâmetro X Axis – Transform Scale.

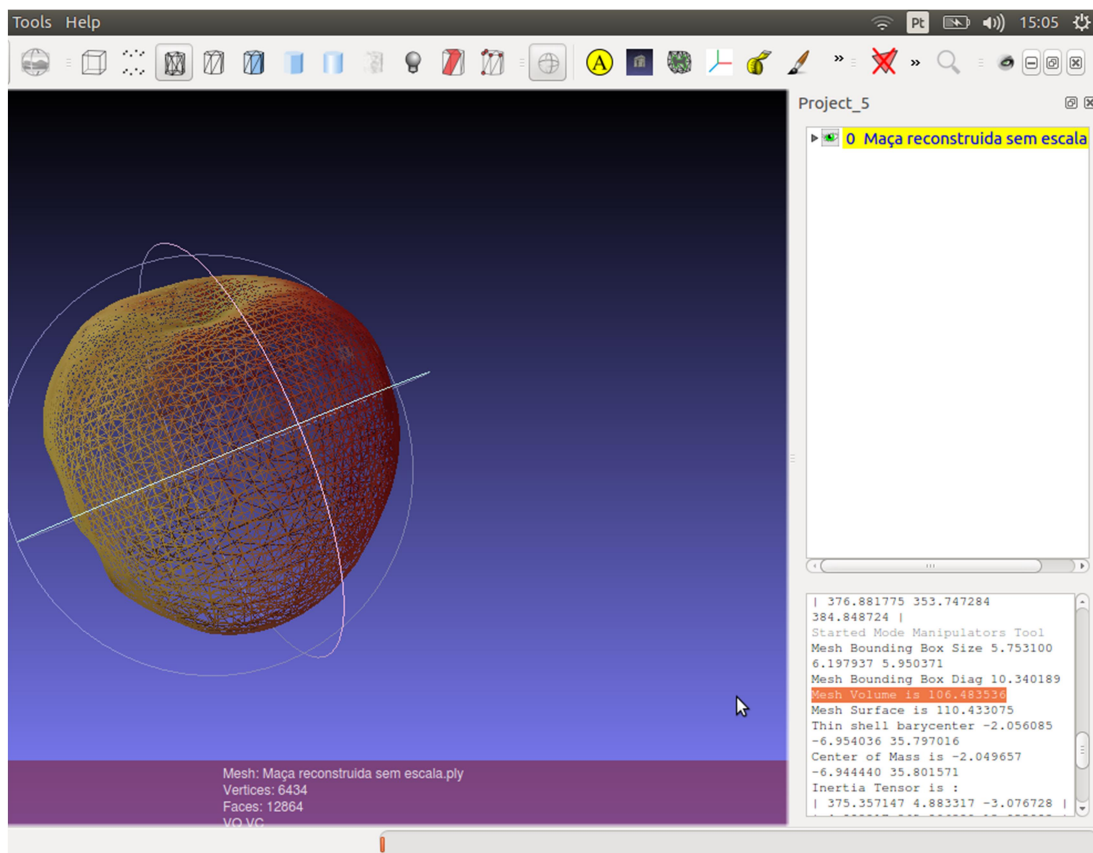


Figura 3.14. Volume – Compute Geometric Measures.

Para que as cores fossem transferidas para a malha gerada na reconstrução de Poisson, foi realizado os seguintes passos:

Filter → Sampling → Vertex Attribute Transfer

Foi selecionado *Transfer Color*, do padrão (arquivo .ply gerado pelo 3DMCAP) para o alvo (Poisson .ply).

Após reconstruídas todas as amostras, foram demonstrados os resultados obtidos na seção subsequente deste trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aquisição de imagens gerou em torno de 62 frames (imagens) por amostra e levou cerca de 15 minutos para que o PMVS construísse a nuvem de pontos, valores semelhantes aos obtidos pelos autores Santos e Rodrigues (2016). Na tabela 4.1, estão explicitados o número de frames por aquisição.

Tabela 4.1. Número de frames(imagens) por aquisição.

Repetição	Frames		
	Aquisição 1	Aquisição 2	Aquisição 3
Amostra 1	50	55	67
Amostra 2	57	61	61
Amostra 3	61	61	64
Amostra 4	61	62	64
Amostra 5	62	62	66
Média	62 frames		

A reconstrução de Poisson completou o restante da malha, com a forma semelhante a da figura real (maçã), de acordo com o campo vetorial dos pontos obtidos (figura 4.1). Este algoritmo esta melhor descrito no artigo de (Kazhdan & Hoppe, 2013) e na seção 2 deste trabalho.

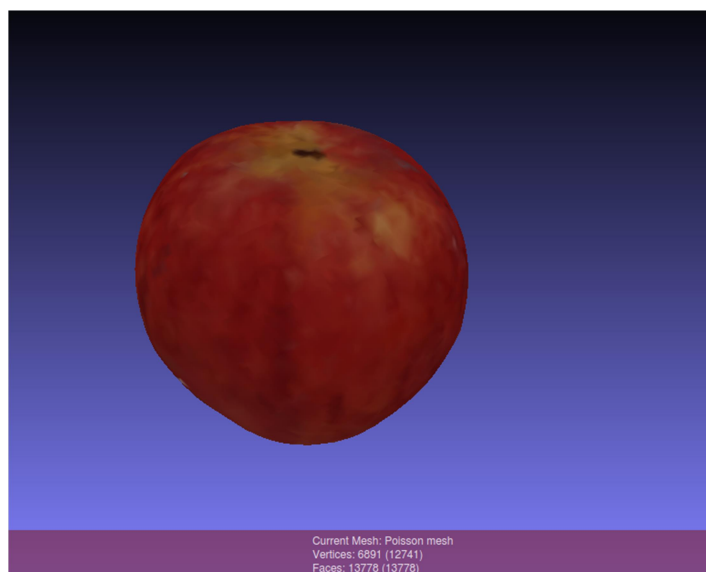


Figura 4.1. Reconstrução de Poisson – Malha.

Para a minimização dos erros, todas as aquisições de dados empíricos foram feitos em triplicata, sendo que os valores obtidos pelos métodos matemático, laboratorial e computacional estão demonstrados na sequência:

Método matemático – Volume através da esfera

Os resultados obtidos para esta metodologia consistem em aproximar o volume da maçã por uma esfera, no qual o raio foi obtido de duas diferentes maneiras, sendo elas, através do perímetro (tabela 4.2) e com o uso de um paquímetro (tabela 4.3).

Tabela 4.2. Raio através do perímetro e volume.

Repetição	Perímetro (cm)		Raio (cm)		Volume Esfera (cm ³)	
Amostra 1	P1	20,4000	R1	3,2468	V1	143,3638
	P2	20,5000	R2	3,2627	V2	145,4824
	P3	20,7000	R3	3,2945	V3	149,7821
Amostra 2	P1	19,7900	R1	3,1497	V1	130,8839
	P2	19,7000	R2	3,1354	V2	129,1064
	P3	20,0200	R3	3,1863	V3	135,5006
Amostra 3	P1	20,2000	R1	3,2149	V1	139,1884
	P2	20,0800	R2	3,1958	V2	136,7225
	P3	20,2100	R3	3,2165	V3	139,3952
Amostra 4	P1	19,5500	R1	3,1115	V1	126,1796
	P2	19,6200	R2	3,1226	V2	127,5399
	P3	19,7100	R3	3,1369	V3	129,3031
Amostra 5	P1	20,9800	R1	3,3391	V1	155,9428
	P2	20,8200	R2	3,3136	V2	152,4022
	P3	20,8900	R3	3,3247	V3	153,9446

Tabela 4.3. Raio através do paquímetro e volume.

Repetição	Raio (cm)		Volume Esfera (cm ³)	
Amostra 1	R1	2,9750	V1	110,2934
	R2	3,0050	V2	113,6638
	R3	2,9800	V3	110,8504
Amostra 2	R1	2,8900	V1	101,1072
	R2	2,9600	V2	108,6335
	R3	2,9200	V3	104,2887
Amostra 3	R1	2,9350	V1	105,9041
	R2	2,9950	V2	112,5328
	R3	3,0100	V3	114,2321
Amostra 4	R1	2,9900	V1	111,9701
	R2	3,0350	V2	117,1021
	R3	3,0100	V3	114,2321
Amostra 5	R1	3,1100	V1	125,9998
	R2	3,1350	V2	129,0628
	R3	3,1000	V3	124,7882

Método Laboratorial – Volume

Os resultados obtidos para esta metodologia consistem em estimar o volume através da submersão do fruto em um V_{inicial} de água conhecido e medir o V_{final} demonstrado na proveta graduada, sendo que a diferença corresponde ao volume da maçã. Na tabela 4.4 estão demonstrados os resultados obtidos:

Tabela 4.4. Volume pelo método laboratorial.

Repetição	Volume Maçã (cm ³)	
Amostra 1	V1	130,0000
	V2	125,0000
	V3	130,0000
Amostra 2	V1	120,0000
	V2	117,0000
	V3	117,0000
Amostra 3	V1	125,0000
	V2	125,0000
	V3	128,0000
Amostra 4	V1	118,0000
	V2	120,0000
	V3	120,0000
Amostra 5	V1	140,0000
	V2	140,0000
	V3	142,0000

Como mencionado anteriormente, este método por mais simples que pareça fornece os resultados mais confiáveis, porém a proveta não possui uma unidade de medida decimal o que aumenta o erro do experimento.

Método Computacional – Volume

Para tal metodologia, foram realizadas as aquisições de imagens conforme descrito na seção de 3 deste trabalho, no qual, foi gerada a nuvem de pontos e através do algoritmo de Poisson foi realizada a reconstrução e estimado o volume. Os resultados obtidos estão demonstrados na tabela 4.5.

Tabela 4.5. Volume pelo método computacional.

Repetição	Volume Maça (cm³)	
Amostra 1	V1	110,2713
	V2	142,6090
	V3	104,0059
Amostra 2	V1	106,4835
	V2	112,2713
	V3	113,3854
Amostra 3	V1	126,9519
	V2	119,6226
	V3	127,2832
Amostra 4	V1	120,3589
	V2	121,2897
	V3	119,8234
Amostra 5	V1	152,5608
	V2	150,4239
	V3	148,6476

Com base nos resultados obtidos foram realizadas as comparações entre as metodologias, com o objetivo principal de avaliar a eficiência do método computacional e apontar as principais dificuldades e parâmetros que intensificaram o erro durante o processo de aquisição e reconstrução das imagens.

Os gráficos 1, 2 e 3 demonstram através de dispersão as diferenças obtidas entre as metodologias quando comparadas ao método laboratorial.

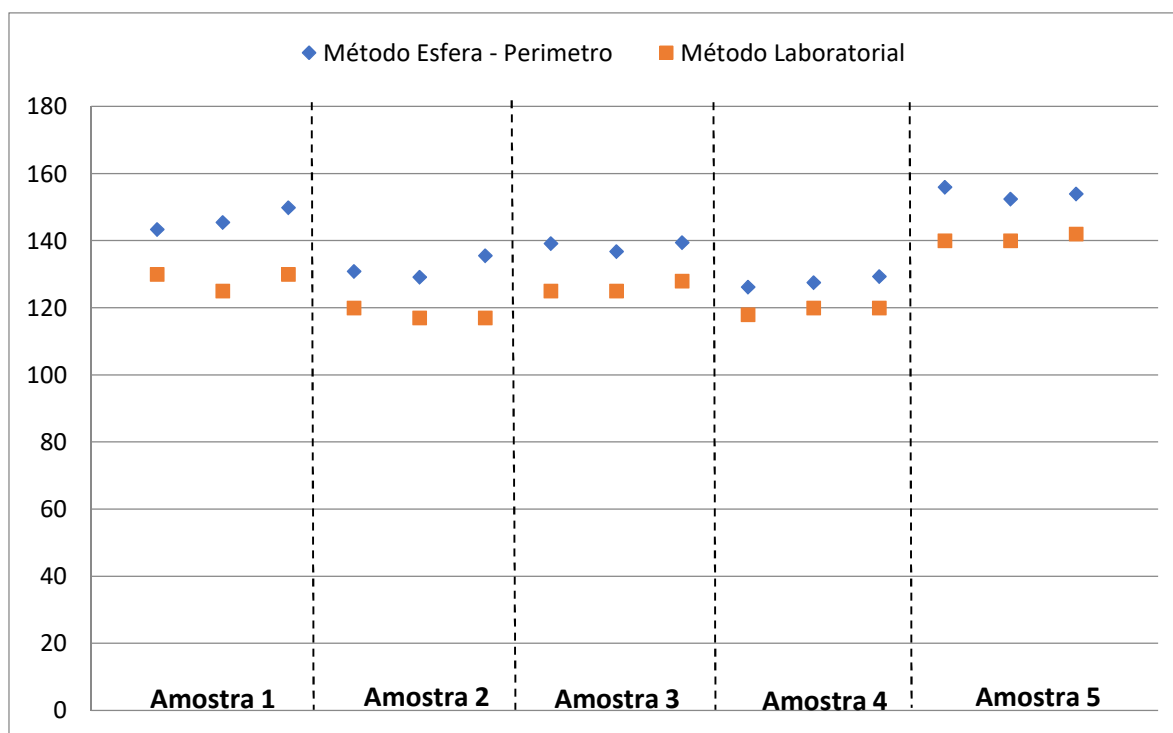


Gráfico 1. Comparação entre o método laboratorial e método matemático - perímetro.

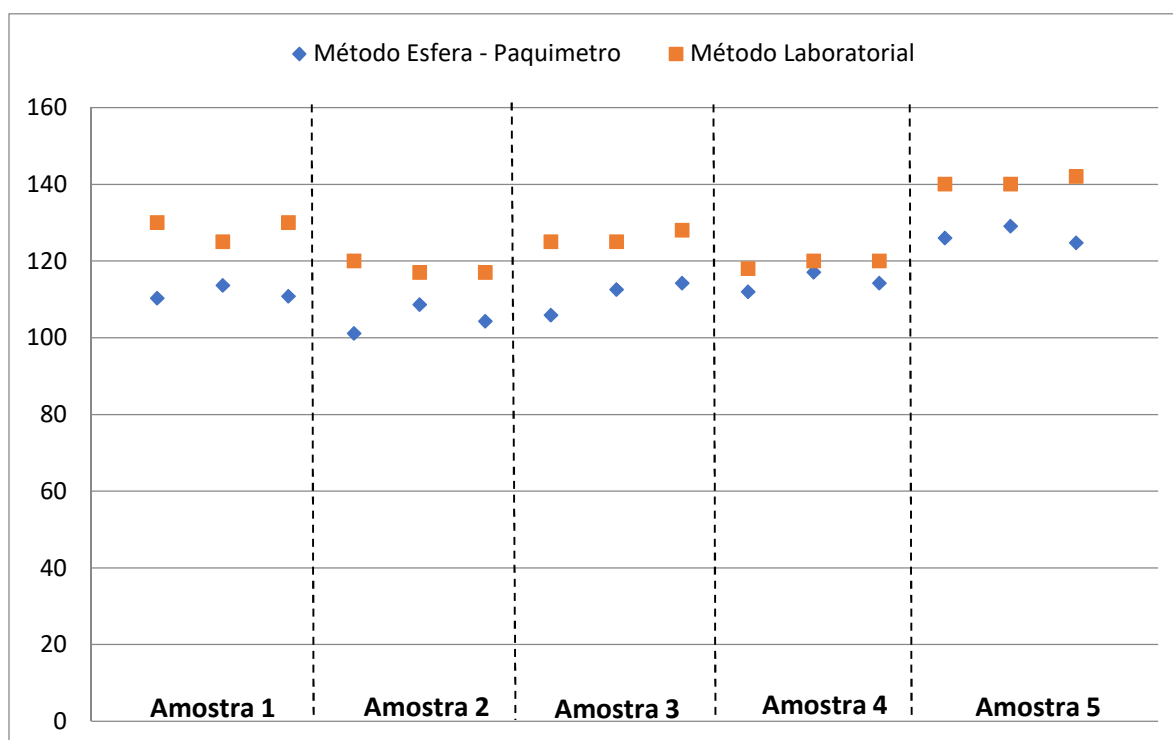


Gráfico 2. Comparação entre o método laboratorial e método matemático - paquímetro.

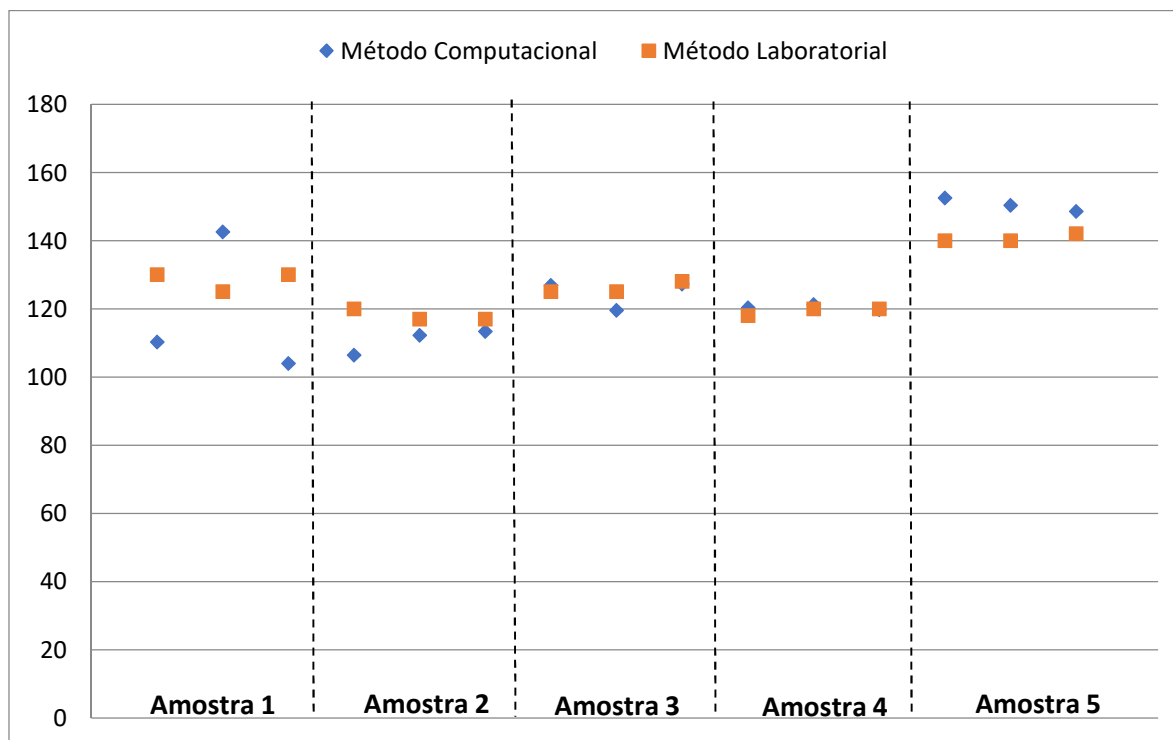


Gráfico 3. Comparação entre o método laboratorial e método computacional.

Em análise dos resultados obtidos, observamos que o método computacional apresentou valores satisfatórios quando comparadas as medidas experimentais, sendo que as medidas apresentaram uma diferença percentual média de 6,96%. Observou-se que a qualidade das imagens (iluminação), assim como um número de frames obtidos, podem ter sido uns dos fatores com maior impacto no erro, pois observando a tabela 4.1 podemos notar que as amostras que tiveram um número menor de frames, apresentaram a maior diferença entre os valores. Outro ponto de grande impacto no erro consiste no processo de exclusão dos pontos que não se referem ao objeto (Maçã). Esta etapa pode ocasionar exclusões de pontos pertencentes ao corpo de estudo, o que aumenta o erro na reconstrução.

Os métodos de obtenção do volume através da esfera com os valores do raio obtidos pelo perímetro e paquímetro apresentaram o erro médio de 10,42% e 10,07%, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho baseou-se na metodologia descrita Santos e Rodrigues (2015), na qual foi utilizada uma webcam comercial para a aquisição das imagens e o software 3DMCAP que através do PMVS gerou uma nuvem de pontos da imagem com formato específico para a importação no software Meshlab. A partir disso foram feitos as exclusões dos pontos que não correspondiam ao objeto e as devidas normalizações, e com base nos conceitos proposto por Kazhdan & Hoppe (2013), foi implementado o algoritmo de reconstrução de Poisson, que possibilitou estimar a superfície real do objeto.

A partir do objeto reconstruído foram geradas as medidas geométricas que foram comparadas a outras metodologias de obtenção de volume, sendo que o método laboratorial foi adotado como base de comparação. Os resultados obtidos para o método computacional apresentaram uma diferença média de 6,96% quando comparado a método laboratorial, o que demonstrou uma maior eficiência em relação a obtenção do volume pela esfera, que obtiveram uma diferença percentual de 10,42% (raio através do perímetro) e 10,07% (raio através do paquímetro).

Avaliar as imagens obtidas para a reconstrução é de extrema importância, sendo que uma boa qualidade de imagem irá gerar valores convergentes. Parâmetros importantes para a redução do erro estão diretamente ligados ao processo de aquisição de imagens, no qual, fatores como a iluminação, posicionamento do objeto, ângulo de aquisição, cenário e refletância do objeto em estudo impactam diretamente na qualidade da nuvem de pontos, sendo assim tais fatores podem servir de parâmetros para novos trabalhos.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, Gabriel Tavares Malizia. **Um Estudo das Técnicas de Obtenção de Forma a partir de Estéreo e Luz Estruturada para Engenharia**. 2005. Dissertação (Mestrado em informática) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

ASSIS, André Koch Torres. **Archimedes, the center of gravity and the first law of mechanics**. Montreal: Apeiron Montreal, 2008.

BASSANEZI, Rodney Carlos. **Ensino-Aprendizagem com Modelagem Matemática**. Campinas: Contexto, 2002.

BELTRAN, Diana; BASAÑEZ, Luis. A Comparison between Active and Passive 3D Vision Sensors: BumblebeeXB3 and Microsoft Kinect. **ROBOT2013: First Iberian Robotics Conference, Advances in Intelligent Systems and Computing**, [S. l.], 2014.

Cignoni, P., & Ranzuglia, G. (2019). **Meshlab**. Acesso em 11 de Maio de 2019, disponível em Meshlab: <http://www.meshlab.net/#description>

GUIMARÃES, A. B. O velho princípio de Arquimedes. **Cad. Cat. Ens. Fís.**, Muriaé, 1999. Jorge, L. A., & Biscegli, C. I. (Novembro de 2007). Acesso em 22 de Abril de 2019, disponível em Infoteca Embrapa: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/30798/1/DOC312007.pdf>

JUNIOR, Valdecir Polizelli. **Métodos implícitos para reconstrução de superfície a partir de nuvens de pontos**. 2008. Dissertação (Mestre em Ciências - Ciência de Computação e Matemática Computacional) - Universidade Estadual de São Paulo, São Carlos, 2008.

Michael Kazhdan , Hugues Hoppe, Screened poisson surface reconstruction, ACM Transactions on Graphics (TOG), v.32 n.3, p.1-13, June 2013 doi:[10.1145/2487228.2487237](https://doi.org/10.1145/2487228.2487237)

MALUS spp. [S. l.], 2008. Disponível em: http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/frutas/frutiferas_cont.php?nome=Maça. Acesso em: 25 maio 2019.



PETRI, José Luiz; LEITE, Gabriel Berenhauser. Macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S. l.], 2008.

RELATÓRIO CENÁRIO HORTIFRUTI BRASIL 2018. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2018/10/31/relatorio-cenario-hortifruti-brasil-2018-mostra-que-geracao-de-empregos-e-destaque/>. Acesso em: 14 maio 2019.

RODRIGUES, Jonathan C.; FILHO, João Milton Lavoier; JORGE, Lúcio André de Castro. Análise de qualidade de frutas por imagens multiespectrais. **Revista Científica Eletrônica - UNISEB**, Ribeirão Preto, 2013.

SANTOS, Thiago Teixeira. **3DMCAP Documentation**. Campinas, 2018. *E-book*.

Santos, T.T., Rodrigues, G.C.: Flexible three-dimensional modeling of plants using low-resolution cameras and visual odometry. *Mach. Vis. Appl.* **27**(5), 695–707 (2016). doi: [10.1007/s00138-015-0729-3](https://doi.org/10.1007/s00138-015-0729-3)

SANTOS, Thiago Teixeira *et al.* Automatic grape bunch detection in vineyards based on affordable 3D phenotyping using a consumer webcam. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA*, 2017, Campinas. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2017.

DA SILVA, Alessandra Ribeiro *et al.* O Uso de Modelagem Matemática no Cálculo do Volume de uma Maçã. **FAMAT em Revista**, [S. l.], 2007.