



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE COMUNICAÇÃO E EXPRESSÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Joe Wallace Cordeiro

**DESIGN ESTRUTURAL DE EMBALAGENS: USO DE FOTOGRAMETRIA DIGITAL,
POR MEIO DE SMARTPHONES, PARA OBTENÇÃO DE MODELOS 3D DE BAIXO
CUSTO**

Florianópolis

2021

Joe Wallace Cordeiro

**DESIGN ESTRUTURAL DE EMBALAGENS: USO DE FOTOGRAMETRIA DIGITAL,
POR MEIO DE SMARTPHONES, PARA OBTENÇÃO DE MODELOS 3D DE BAIXO
CUSTO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Design da Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Braviano

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do Programa de Geração Automática da
Biblioteca Universitária da UFSC.

Cordeiro, Joe Wallace
DESIGN ESTRUTURAL DE EMBALAGENS: USO DE
FOTOGRAMETRIA
DIGITAL, POR MEIO DE SMARTPHONES, PARA OBTENÇÃO DE
MODELOS
3D DE BAIXO CUSTO / Joe Wallace Cordeiro; orientador,
Gilson Braviano, 2021.

198 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Comunicação e Expressão, Programa de Pós-
Graduação em Design, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Design. 2. Fotogrametria. 3. Design. 4. Projeto de
embalagem. 5. Smartphone. I. Braviano, Gilson. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Design. III. Título.

Joe Wallace Cordeiro

**DESIGN ESTRUTURAL DE EMBALAGENS: USO DE FOTOGRAMETRIA DIGITAL,
POR MEIO DE SMARTPHONES, PARA OBTENÇÃO DE MODELOS 3D DE BAIXO
CUSTO**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.^a Dra. Berenice Santos Gonçalves
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Marcelo Gitirana Gomes Ferreira
Universidade Estadual de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de mestre em Design.

Prof. Dr. Ricardo Triska
Coordenador do Programa

Prof. Dr. Gilson Braviano
Orientador

Florianópolis, 2021.

Este trabalho é dedicado a minha família, aos meus colegas de mestrado e aos professores e pesquisadores das universidades públicas do Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, ao meu orientador, Dr. Gilson Braviano, pela fantástica orientação, suporte, bom humor e paciência no desenvolvimento desta pesquisa.

Em seguida, aos professores Dra. Berenice e Dr. Gitirana, que gentilmente aceitaram e disponibilizaram o seu tempo para participar desta banca de dissertação de mestrado.

À professora Albertina Pereira Medeiros pelo apoio, orientação e pela grande amizade.

Ao Dr. Ivan, pela ajuda, pelo suporte e pela amizade.

Agradeço imensamente ao professor Gitirana, da UDESC, pelo seu interesse e importante suporte neste projeto, com o apoio e a disponibilização do seu tempo para que essa pesquisa pudesse ser executada da melhor forma possível.

Também aos professores e colaboradores da UFSC e Hiperlab, pela orientação e pelo suporte.

Aos colegas do Pós-Design, pelo apoio e pela companhia durante esses anos de estudo.

À Barbara, pela grande ajuda nos instantes finais.

A minha família, pelo apoio. Em especial a minha esposa Renata e ao meu filho Yan, pelo amor e pela paciência.

Por fim, à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Código de Financiamento 001), por viabilizar esta pesquisa.

A todos, o meu muito obrigado!

“Um bom Design não é somente a solução de um problema, mas também a sua definição apropriada. E isto é uma arte tanto quanto é uma técnica”. (Jens Bernsen).

RESUMO

O setor de embalagens, ao longo dos anos, vem se tornando cada vez mais relevante e diversificado, sendo sua cadeia de produção e distribuição essencial para a sociedade. O Design de Embalagens de alimentos frescos, além de promover o produto, pode auxiliar na melhoria dos aspectos estruturais, aumentando a vida útil dos alimentos ao minimizar os danos causados pela deterioração. Aliada às novas tecnologias, a concepção de embalagens considera os aspectos informacionais e estéticos à medida em que contribui para minimizar os impactos ambientais pelo desenvolvimento de produtos mais sustentáveis. Neste contexto, o projeto de embalagem com o auxílio de amostras virtuais pode participar do processo de Design, desde os primeiros estágios de concepção do produto, servindo-se da digitalização 3D. Essa técnica, já consolidada na indústria, tem alto custo, sendo inviável para pequenos estúdios de Design que lidam com embalagens. Desse modo, a presente pesquisa desenvolve um método de baixo custo, por fotogrametria, utilizando smartphones e softwares open source, voltado à digitalização 3D de alimentos frescos. O estudo foi dividido em três fases: revisão bibliográfica e ensaios preliminares; análise comparativa entre o método de baixo custo e aquele de alto custo; e aplicação e avaliação de modelos 3D resultantes, em estudos de Design de Embalagens. Para a análise, foram considerados, na proposta de baixo custo, três modelos de smartphones, três cenários de digitalização e sete amostras de frutas frescas. Os resultados foram comparados com aqueles gerados pelo digitalizador profissional 3D Artec® Eva Lite, com base em procedimentos estatísticos, nos desvios dimensionais dos eixos X, Y e Z, por meio do software Cloud Compare®, e na avaliação usando inspeção visual. Na aplicação, foram desenvolvidos seis projetos de Design de Embalagens, em papel e plástico, ilustrando o uso dos modelos obtidos, em algumas fases do projeto, e contribuindo para a sistematização de um fluxo de digitalização de baixo custo para o Design de Embalagens de frutas frescas, utilizando smartphones e softwares *open source*. Os resultados mostraram a viabilidade do método de baixo custo proposto, gerando precisão suficiente para o design estrutural de embalagens, e seu potencial na obtenção de texturas e em casos onde não se necessita de uma grande quantidade de amostras.

Palavras-chave: Fotogrametria. 3D. Design. Projeto de Embalagem. Smartphone.

ABSTRACT

Over the years, the packaging sector has become increasingly relevant and diversified, and its production and distribution chain is essential for society. The design of fresh food packaging, in addition to promoting the product, can help improve structural aspects, increasing food life by minimizing damage caused by deterioration. Combined with new technologies, packaging design considers informational and aesthetic aspects as it contributes to minimize environmental impacts by developing more sustainable products. In this context, the packaging project with the help of virtual samples can participate in the Design process, from the earliest stages of product design, using 3D scanning. This technique, already consolidated in the industry, has high cost, being unfeasible for small design studios that deal with packaging. Thus, this research develops a low cost method, by photogrammetry, using smartphones and open source software, aimed at 3D scanning of fresh food. The study was divided into three phases: bibliographic review and preliminary trials; comparative analysis between the low-cost and high-cost method; and application and evaluation of resulting 3D models in packaging design studies. For the analysis, three smartphone models, three scanning scenarios and seven fresh fruit samples were considered in the low-cost proposal. The results were compared with those generated by the professional digitizer 3D Artec® Eva Lite, based on statistical procedures, the dimensional deviations of the X, Y and Z axes, through the Cloud Compare®, software and the evaluation using visual inspection. In the application, six packaging design projects were developed, in paper and plastic, illustrating the use of the models obtained, in some phases of the project, and contributing to the systematization of a low-cost 3d scanning flow for Fresh Fruit Packaging Design, using smartphones and open source softwares. The results showed the feasibility of the proposed low cost method, and generating sufficient precision for the structural design of packaging, and its potential in obtaining textures and in cases where a large amount of samples is not required.

Keywords: Photogrammetry. 3D. Design. Packaging Project. Smartphone.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 - VALOR BRUTO DA PRODUÇÃO DE EMBALAGENS POR SEGMENTO..... | 15 |
| FIGURA 2 - ETAPAS DO PROCESSO DE DIGITALIZAÇÃO 3D..... | 23 |
| FIGURA 3 - NÍVEIS DE RESOLUÇÃO DE UM MODELO TRIDIMENSIONAL..... | 24 |
| FIGURA 4 - TEMPO DE COMPREENSÃO..... | 24 |
| FIGURA 5 - CLASSIFICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS..... | 25 |
| FIGURA 6 - SENSE-RS..... | 26 |
| FIGURA 7 - ATOS COMPACT SCAN 5M..... | 26 |
| FIGURA 8 - CLASSIFICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS..... | 27 |
| FIGURA 9 - NÍVEIS DE DEFINIÇÃO DE UM OBJETO FÍSICO..... | 29 |
| FIGURA 10 - EXEMPLOS DE ENQUADRAMENTOS CORRETOS E INCORRETOS PARA CAPTURA DE IMAGENS..... | 31 |
| FIGURA 11 - MÉTODO DE AQUISIÇÃO..... | 32 |
| FIGURA 12 - TIPOS DE ABORDAGEM PARA COLETA DAS IMAGENS..... | 32 |
| FIGURA 13 - PRINCÍPIOS DE CÂMERA FOTOGRÁFICA..... | 33 |
| FIGURA 14 - PROBLEMAS NA AQUISIÇÃO DE IMAGENS..... | 34 |
| FIGURA 15 - ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO GLOBAL DE EMBALAGENS ENTRE OS ANOS DE 2015 E 2020..... | 38 |
| FIGURA 16 - NÍVEIS DE EMBALAGENS..... | 43 |
| FIGURA 17 - SÍNTESE DAS FUNÇÕES DA EMBALAGEM..... | 43 |
| FIGURA 18 - SÍMBOLOS INFORMACIONAIS DE RECICLAGEM EM EMBALAGENS..... | 46 |
| FIGURA 19 - ELEMENTOS E FORMAS DE UMA EMBALAGEM..... | 47 |
| FIGURA 20 - CÓDIGO DE BARRAS..... | 47 |
| FIGURA 21 - CONVENÇÕES TÉCNICAS PARA UMA EMBALAGEM DE PAPEL..... | 49 |
| FIGURA 22 - EXEMPLO DE CONFIGURAÇÃO DE UMA EMBALAGEM DE PLÁSTICO..... | 50 |
| FIGURA 23 - DETALHAMENTO ESTRUTURAL EM PLÁSTICOS..... | 51 |
| FIGURA 24 - FLUXO SISTEMATIZADO DE DESIGN DE EMBALAGENS..... | 52 |
| FIGURA 25 - REPRESENTAÇÃO EM AMBIENTES VIRTUAIS..... | 55 |
| FIGURA 26 - FLUXO SISTEMATIZADO DE DESIGN ESTRUTURAL DE EMBALAGENS..... | 56 |
| FIGURA 27 - DESIGN DA PESQUISA..... | 59 |
| FIGURA 28 - PROCESSO DE AQUISIÇÃO E ANÁLISE COMPARATIVA..... | 60 |
| FIGURA 29 - MODELOS DE SMARTPHONES..... | 66 |
| FIGURA 30 - VISTA ESQUEMÁTICA DO LOCAL DE COLETA..... | 67 |
| FIGURA 31 - VISTA ESQUEMÁTICA DAS DIMENSÕES DOS CENÁRIOS DE COLETA..... | 68 |
| FIGURA 32 - EQUIPAMENTOS AUXILIARES PARA COLETA DE IMAGENS..... | 70 |
| FIGURA 33 - INTERFACE DO MESHROOM..... | 73 |
| FIGURA 34 - TIPOS DE VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS..... | 73 |
| FIGURA 35 - SÍNTESE DO FLUXO DE TRABALHO DO MESHROOM..... | 74 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 36 - AMOSTRAS SELECIONADAS PARA O ESTUDO | 75 |
| FIGURA 37 - FLUXOGRAMA DO COMPARATIVO | 76 |
| FIGURA 38 - PINOS E MARCADORES AUXILIARES APLICADOS | 78 |
| FIGURA 39 - COLETA DE MEDIDAS POR PAQUÍMETRO E BALANÇA | 78 |
| FIGURA 40 - MEDIDAS DE REFERÊNCIA COLETADAS DAS AMOSTRAS | 79 |
| FIGURA 41 - EQUIPAMENTO PARA DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL | 80 |
| FIGURA 42 - SEQUÊNCIA E QUANTIDADE DE ESCANEAMENTOS..... | 81 |
| FIGURA 43 - SÍNTESE DA TOMADA DE FOTOS PELO MÉTODO DE FOTOGAMETRIA DE BAIXO CUSTO | 82 |
| FIGURA 44 - SEQUÊNCIA ESQUEMÁTICA DA TOMADA DE FOTOS DAS AMOSTRAS POR BASE FIXA..... | 82 |
| FIGURA 45 - ESQUEMA DA SEQUÊNCIA DAS FOTOS DAS AMOSTRAS POR BASE GIRATÓRIA | 83 |
| FIGURA 46 - SEQUÊNCIA DAS FOTOS DAS AMOSTRAS POR MINI ESTÚDIO..... | 84 |
| FIGURA 47 - IMAGENS DO PROCESSO DE CAPTURA DOS DADOS..... | 84 |
| FIGURA 48 - EXEMPLO DE MEDIDAS LINEARES COLETADAS DAS AMOSTRAS..... | 85 |
| FIGURA 49 - EXEMPLO DE COMPARATIVO ENTRE NUVENS DE PONTOS NO CLOUD COMPARE | 86 |
| FIGURA 50 - EXEMPLO DE ANÁLISE VISUAL POR SOBREPOSIÇÃO DE MATRIZ EM VISTAS 3D..... | 88 |
| FIGURA 51 - GEOMETRIAS RESULTANTES DO ESCANEAMENTO DE ALTO CUSTO ARTEC 3D | 91 |
| FIGURA 52 - TESTE T DE STUDENT PARA AMOSTRAS PAREADAS DAS MEDIDAS DO SCAN | 92 |
| FIGURA 53 - TESTE T DE STUDENT PARA UMA AMOSTRA DO SCAN | 92 |
| FIGURA 54 - TESTE DE CONCORDÂNCIA ENTRE INSTRUMENTOS DE COLETA DE BLAND-ALTMAN | 93 |
| FIGURA 55 - IMAGENS APROXIMADAS DOS PINOS DE REFERÊNCIA DE ALGUMAS AMOSTRAS COMPARADAS COM OS SCANS..... | 93 |
| FIGURA 56 - GRÁFICO BOX PLOT DO TEMPO DE PROCESSAMENTO DAS FRUTAS | 94 |
| FIGURA 57 - GRÁFICOS DAS RESOLUÇÕES DE CÂMERA..... | 96 |
| FIGURA 58 - CARACTERÍSTICAS DE UMA AMOSTRA DIGITALIZADA POR FOTOGAMETRIA | 96 |
| FIGURA 59 - GRÁFICOS TESTE T DE STUDENT E BLAND-ALTMAN PARA AS MEDIDAS DAS AMOSTRAS POR FOTOGAMETRIA | 97 |
| FIGURA 60 - GRÁFICOS BOXPLOT DA ANÁLISE DE DESVIOS DIMENSIONAIS POR GRUPO DE FRUTAS | 98 |
| FIGURA 61 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO, DIAGRAMA DE DISPERSÃO E RETA DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE AS VARIÁVEIS DE QUALIDADE ESTRUTURAL | 99 |
| FIGURA 62 - GRÁFICOS DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO 3D | 100 |
| FIGURA 63 - ABACATE..... | 102 |
| FIGURA 64 - BRILHOS E REFLEXOS GERADOS PELA ILUMINAÇÃO NA AMOSTRA BASE FIXA A30s..... | 103 |
| FIGURA 65 - MAPA DE COR DAS AMOSTRAS DO AVOCADO | 104 |
| FIGURA 66 - MAÇÃ VERDE..... | 106 |
| FIGURA 67 - MAÇÃ VERMELHA..... | 107 |
| FIGURA 68 - MAMÃO | 109 |
| FIGURA 69 - MELÃO | 110 |
| FIGURA 70 - PERA | 112 |
| FIGURA 71 - PERA | 113 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 72 - AMOSTRAS DOS GRÁFICOS DE ALGUNS DOS PIORES E MELHORES RESULTADOS | 114 |
| FIGURA 73 - GRÁFICOS BLOXPLOT DAS MÉDIAS DOS DESVIOS ENTRE AS VARIÁVEIS TIPO DE SMARTPHONE E CENÁRIO | 114 |
| FIGURA 74 - GRÁFICOS DAS MÉDIAS DOS TEMPOS PARA TOMADA DAS FOTOS COM CADA CENÁRIO | 116 |
| FIGURA 75 - GRÁFICOS DAS MÉDIAS DOS TEMPOS PARA FOTOGRAFAR CADA GRUPO DE FRUTAS | 117 |
| FIGURA 76 - GRÁFICOS DAS MÉDIAS DOS TEMPOS E QUALIDADE ESTRUTURAL (% ENTRE -1 E + 1MM) PARA FOTOGRAFAR CADA GRUPO DE FRUTAS | 118 |
| FIGURA 77 - GRÁFICOS DOS RESULTADOS DO TEST T-STUDENT PARA AS AMOSTRAS INDEPENDENTES COM E SEM A BASE DE ELEVAÇÃO | 118 |
| FIGURA 78 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO E EXEMPLOS DAS BASES DE APOIO EM PLÁSTICO E ANEL DE TECIDO ELÁSTICO | 119 |
| FIGURA 79 - FLUXOGRAMA COMPARATIVO COM OS PONTOS FORTES E FRACOS DE CADA MÉTODO DE DIGITALIZAÇÃO 3D..... | 120 |
| FIGURA 80 - FLUXOGRAMA COMPARATIVO DE GERAÇÃO DE MALHAS ENTRE OS MÉTODOS | 121 |
| FIGURA 81 - MODELOS GERADOS COM DIFERENTES DEFINIÇÕES DE QUALIDADE | 124 |
| FIGURA 82 - MODELOS GERADOS COM DIFERENTES DEFINIÇÕES DE QUALIDADE | 125 |
| FIGURA 83 - MODELOS GERADOS COM DIFERENTES DEFINIÇÕES DE QUALIDADE | 129 |
| FIGURA 84 - AMOSTRAS DE RENDER CONCEITUAL DOS ESTUDOS | 131 |
| FIGURA 85 - ESTUDOS EM PROJETO DE EMBALAGEM SLEEVE TERMO ENCOLHÍVEL | 133 |
| FIGURA 86 - ESTUDOS EM PROJETO DE EMBALAGEM SLEEVE TERMO ENCOLHÍVEL | 134 |
| FIGURA 87 - ESTUDOS DE CONFIGURAÇÃO DE ESPAÇO E SIMULAÇÃO FÍSICA..... | 135 |
| FIGURA 88 - DESIGN ESTRUTURAL PARA EMBALAGEM DE AVOCADO | 136 |
| FIGURA 89 - DESIGN ESTRUTURAL PARA EMBALAGEM DO ABACATE | 137 |
| FIGURA 90 - DESIGN ESTRUTURAL PARA EMBALAGEM DE PAPEL..... | 138 |
| FIGURA 91 -EXEMPLOS DETALHAMENTO TÉCNICO DAS PROPOSTAS EM PAPEL E BANDEJA PLÁSTICA | 139 |
| FIGURA 92 - APRESENTAÇÃO DAS PROPOSTAS DAS FRUTAS COM SLEEVE TERMO ENCOLHÍVEL | 140 |
| FIGURA 93 - BANDEJA DE PAPEL PARA AVOCADO | 141 |
| FIGURA 94 - BANDEJA DE PAPEL PARA MAMÃO | 141 |
| FIGURA 95 - PROPOSIÇÃO DE BANDEJA PLÁSTICA PARA ABACATE | 142 |
| FIGURA 96 - RESULTADO DA BANDEJA PLÁSTICA PARA AVOCADO | 143 |
| FIGURA 97 – SÍNTESE DO FLUXO SISTEMATIZADO DE DIGITALIZAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA DESIGN ESTRUTURAL DE EMBALAGENS DE ALIMENTOS FRESCOS..... | 145 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|-----|
| QUADRO 1 - CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE UM SCANNER..... | 28 |
| QUADRO 2 - EVOLUÇÃO E DIFERENÇAS DO PROCESSO DE FOTOGRAMETRIA..... | 30 |
| QUADRO 3 - EMBALAGENS RÍGIDAS, SEMIRRÍGIDAS E FLEXÍVEIS | 40 |
| QUADRO 4 - PROCESSOS MAIS APLICADOS EM PRODUÇÃO DE EMBALAGENS | 48 |
| QUADRO 5 - SÍNTESE DOS LEVANTAMENTOS DE FERRAMENTAS E PARÂMETROS PARA O COMPARATIVO | 63 |
| QUADRO 6 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS CENÁRIOS PARA CAPTURAS DE IMAGENS | 69 |
| QUADRO 7 - RECOMENDAÇÕES PARA O USO DO MÉTODO DE BAIXO CUSTO..... | 126 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| TABELA 1 - MODELOS DE SMARTPHONES | 67 |
| TABELA 2 - NOTAS E PORCENTAGENS DOS DESVIOS DIMENSIONAIS ENTRE -1 E +1MM DO ABACATE..... | 102 |
| TABELA 3 - NOTAS E PORCENTAGENS DOS DESVIOS DIMENSIONAIS ENTRE -1 E +1MM DO AVOCADO | 104 |
| TABELA 4 - NOTAS E PORCENTAGENS DOS DESVIOS DIMENSIONAIS ENTRE -1 E +1MM DA MAÇÃ VERDE | 105 |
| TABELA 5 - NOTAS E PORCENTAGENS DOS DESVIOS DIMENSIONAIS ENTRE -1 E +1MM DA MAÇÃ VERMELHA | 107 |
| TABELA 6 - NOTAS E PORCENTAGENS DOS DESVIOS DIMENSIONAIS ENTRE -1 E +1MM DA AMOSTRA MAMÃO | 108 |
| TABELA 7 - NOTAS E PORCENTAGENS DOS DESVIOS DIMENSIONAIS ENTRE -1 E +1MM DO MELÃO..... | 110 |
| TABELA 8 - NOTAS E PORCENTAGENS DOS DESVIOS DIMENSIONAIS ENTRE -1 E +1MM DA PERA | 111 |
| TABELA 9 - COMPARATIVO ENTRE AS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS MÉTODOS DE DIGITALIZAÇÃO DE ALTO E BAIXO CUSTO | 122 |
| TABELA 10 - RESULTADOS DOS TEMPOS DE PROCESSAMENTO ENTRE COMPUTADORES..... | 176 |
| TABELA 11 - RESULTADOS DOS TEMPOS DE PROCESSAMENTO ENTRE COMPUTADORES..... | 182 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CAAE Certificado de Apresentação para Apreciação Ética
CAD Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
CAE Computer Aided Engineering (Engenharia Assistida por Computador)
CAM Computer Aided Manufacturing (Manufatura Assistida por Computador)
CBDE Centro Brasileiro de Design e Engenharias
CCD Charge-coupled Device)
CNC Comando Numérico Computadorizado
CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DI Desenho Industrial
EUA Estados Unidos da América
FABLAB Laboratório de Fabricação Digital
FD Fabricação Digital
FDM Fused Deposition Modeling (Modelagem por depósito de material fundido)
GBGigabyte
HTML HyperText Markup Language (Linguagem de Marcação de Hipertexto)
IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
kB Kilobyte
LED Light Emitting Diode
MB Megabyte
MDF Medium-Density Fiberboard
PET Politereftalato de etileno
PIB Produto interno bruto
RAM Random-access Memory
SLA StereoLitography Aparatus
STL Stereolithography (Esteriolitografia)
SSCs Sistema, Subsistemas e Componentes
TOF Time of Flight
TCLE Termo de Consentimento e Livre Esclarecido
UFSC Universidade Federal de Santa Catarina
2D Duas dimensões
2.5D Duas dimensões e meia
3D Três dimensões

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 OBJETIVOS | 18 |
| 1.2 ADERÊNCIA AO PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO | 19 |
| 1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA | 19 |
| 1.4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA PESQUISA | 20 |
| 1.4.1 Classificação da pesquisa na área de conhecimento | 20 |
| 1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO | 21 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 23 |
| 2.1 DIGITALIZAÇÃO 3D..... | 23 |
| 2.1.1 Fotogrametria | 29 |
| 2.1.2 Câmera digital e <i>Smartphone</i> | 33 |
| 2.1.3 O objeto tridimensional | 35 |
| 2.2 EMBALAGENS | 36 |
| 2.2.1 A Indústria de Embalagens | 37 |
| 2.2.2 Embalagens e alimentos | 39 |
| 2.2.3 Atribuições da embalagem..... | 42 |
| 2.2.4 Design de Embalagens..... | 44 |
| 2.2.5 Design estrutural de embalagens..... | 48 |
| 2.2.6 Design em embalagens de papel | 48 |
| 2.2.7 Design em embalagens plásticas..... | 50 |
| 2.2.8 Métodos de Design de Embalagens..... | 51 |
| 2.2.9 Design de Embalagens e novas tecnologias | 54 |
| 2.3 SÍNTESE DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 57 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 59 |
| 3.1 FASE 1: DEFINIÇÃO DE METODOLOGIA E RESULTADOS PRELIMINARES | 61 |
| 3.1.1 Ensaios e resultados preliminares para definição de ferramentas e parâmetros para aplicação do experimento na Fase 2..... | 61 |
| 3.1.2 Configuração do Experimento da Fase 2..... | 64 |
| 3.1.3 Seleção dos Smartphones para a fotogrametria dos alimentos | 65 |
| 3.1.4 Definição do Ambiente..... | 67 |
| 3.1.5 Definição dos cenários para captura das fotografias..... | 68 |
| 3.1.6 Definição do processo de fotogrametria | 71 |
| 3.1.7 Definição das Amostras de alimentos frescos..... | 75 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2 FASE 2: PROCEDIMENTOS PARA A COMPARAÇÃO DOS MODELOS E DOS MÉTODOS DE FOTOGRAMETRIA DE BAIXO E DE ALTO CUSTO | 75 |
| 3.2.1 Preparo das amostras..... | 78 |
| 3.2.2 Procedimento de Digitalização do Padrão Virtual das Amostras de Alto Custo | 79 |
| 3.2.3 Procedimento para Digitalização de Baixo custo por Smartphone..... | 81 |
| 3.2.4 Procedimento para Coleta dos Dados Dimensionais | 85 |
| 3.2.5 Procedimento para Análise Comparativa dos Desvios Dimensionais | 86 |
| 3.2.6 Procedimento para Análise Visual dos Dados Estruturais | 87 |
| 3.2.7 Procedimento para Análise dos Cenários..... | 88 |
| 3.2.8 Comparativo entre os métodos de digitalização de alto e de baixo custo | 89 |
| 3.3 FASE 3: APLICAÇÃO DE AMOSTRAS EM ESTUDOS DE DESIGN DE EMBALAGENS | 89 |
| 3.3.1 Geração de alternativas | 89 |
| 3.3.2 Design estrutural | 89 |
| 3.3.3 Detalhamento técnico | 90 |
| 3.3.4 Rendering | 90 |
| 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 91 |
| 4.1 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DA DIGITALIZAÇÃO PELO PROCESSO DE ALTO CUSTO | 91 |
| 4.2 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DA DIGITALIZAÇÃO PELO PROCESSO DE BAIXO CUSTO | 94 |
| 4.3 COMPARATIVO DIMENSIONAL ENTRE ALTO E BAIXO CUSTO | 97 |
| 4.3.1 Análise das amostras do abacate..... | 101 |
| 4.3.2 Análise das amostras do avocado..... | 103 |
| 4.3.3 Análise das amostras da maçã verde | 105 |
| 4.3.4 Análise das amostras da maçã vermelha | 106 |
| 4.3.5 Análise das amostras do mamão | 108 |
| 4.3.6 Análise das amostras do melão..... | 109 |
| 4.3.7 Análise das amostras da pera | 111 |
| 4.3.7 Análises complementares das amostras | 113 |
| 4.4 AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CUSTO | 115 |
| 4.4.1 Avaliação dos cenários | 115 |
| 4.5 COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE DIGITALIZAÇÃO DE ALTO E BAIXO CUSTO | 120 |
| 4.6 CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES PARA O USO DO MÉTODO DE BAIXO CUSTO | 124 |
| 4.7 APLICAÇÃO DE AMOSTRAS EM ESTUDOS DE DESIGN DE EMBALAGEM..... | 129 |
| 4.7.1 Geração de alternativas | 130 |
| 4.7.2 Estudos de Design estrutural..... | 131 |
| 4.7.3 Detalhamento técnico das propostas..... | 138 |
| 4.7.4 Apresentação das propostas | 140 |

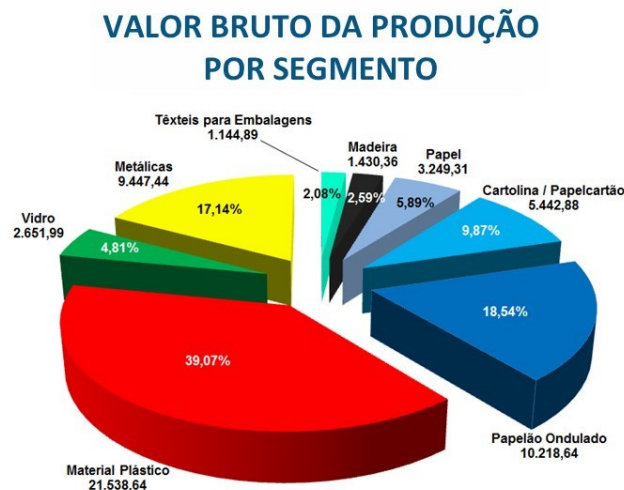
| | |
|--|------------|
| 4.8 FLUXO SISTEMATIZADO DE DIGITALIZAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA DESIGN ESTRUTURAL DE EMBALAGENS DE ALIMENTOS FRESCOS..... | 144 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 147 |
| 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS: | 148 |
| REFERÊNCIAS..... | 150 |
| APÊNDICE A – REVISÃO SISTEMÁTICA..... | 158 |
| APÊNDICE B – ENSAIOS PRELIMINARES..... | 161 |
| APÊNDICE C – GRÁFICOS GERADOS PELO SOFTWARE CLOUD COMPARE | 187 |
| APÊNDICE D – FOLHA DE REFERÊNCIA..... | 194 |

1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica das últimas décadas proporcionou um crescimento nas mais diversas áreas de consumo. Pode-se constatar esse fenômeno pela crescente utilização de embalagens que são empregadas em quase 70% dos produtos comercializados (NEGRÃO, 2008).

Acompanhando essa tendência, a produção de embalagens vem crescendo ao longo dos anos (ABRE/FGV, 2018) e se tornou fundamental para a economia global, gerando, com isso, oportunidades para o Design, especificamente para o Design estrutural de embalagens, conforme mostra a Figura 1. A partir dela, percebe-se que as matérias-primas plástico e papel, em seus diferentes formatos, participam com quase três quartos dos insumos que formam a estrutura de uma embalagem.

Figura 1 - Valor bruto da produção de embalagens por segmento.



Nota: Valores em milhares de reais atualizados para 2014.

Fonte: IBGE – PIA – Produto (UL) - 2012

Elaboração: FGV

Fonte: ABRE (2018).

Camilo (2017) ressalta que, além do crescimento apresentado nos últimos anos, o mercado global de embalagens produzidas ainda possui uma estimativa de crescimento de 3,5% ao ano e pode chegar a 2020 com quase um trilhão de dólares, sendo que as embalagens de alimentos respondem pela maior parte dessa demanda.

O desenvolvimento dos projetos de embalagens torna-se, então, um dos desafios mercadológicos contemporâneos. No Design estrutural de embalagens de alimentos, em particular, o próprio produto orgânico oferece uma gama de complexidades referentes a sua

natureza formal, passando pela estrutura, pela composição química, e pelos aspectos de degradação e conservação, os quais influenciam no tempo e nos custos de um projeto.

Uma maneira de minimizar tais custos, quando estão envolvidos produtos dessa natureza, é a utilização da tecnologia de digitalização tridimensional. Seu resultado fornece a cópia de um produto físico que pode ser incorporado ao projeto de embalagem, gerando dados como dimensão e volume, que, por sua vez, podem auxiliar na otimização das ações de Design, o que contribui na decisão e na assertividade dos resultados. Como fator secundário, o objeto obtido pode ser visualizado em conjunto com as alternativas geradas e contribuir para a representação gráfica, além de ser possível incorporar simulações em ambiente virtual.

Além de fatores referentes ao próprio produto, como, por exemplo, a deterioração, o Design de Embalagens de alimentos, quando utiliza tecnologias como a digitalização tridimensional, beneficia-se, ainda nos primeiros estágios do projeto, de fatores referentes à personalização e ao aprimoramento dos atributos estéticos e formais e contribui para a redução dos impactos ambientais por meio de embalagens mais sustentáveis e melhor construídas (ARES; PARDO-VICENTE; RODRÍGUEZ-PARADA, 2018).

As investigações que visam sistematizar o uso de métodos e ferramentas para obtenção de modelos tridimensionais pela fotogrametria¹ de baixo custo, para o Design de Embalagens, ainda são muito escassas. Tais aspectos podem ser verificados no Apêndice A, a partir de pesquisa bibliográfica e de revisão sistemática que foram realizadas, cujos resultados apontaram para um espaço de importante inserção, correlato ao tema da presente dissertação.

Existem, predominantemente, outros métodos de digitalização, onde as aplicações para o Design envolvem meios alternativos, como *laser* e TOF (*scanner* de baixo custo que utiliza pulsos *laser* ou LED).

De modo global, devido ao alto custo, à falta de documentação e à dificuldade de utilização, essas ferramentas de digitalização tridimensional acabam não sendo acessíveis para a maioria dos profissionais na área de Design.

Para Chen (2015), cada tecnologia de digitalização apresenta limitações e vantagens e o fato de os equipamentos a laser serem, em média, 15 vezes mais caros que uma câmera fotográfica de excepcional qualidade torna o processo de fotogrametria por captura de imagens uma opção viável, além da flexibilidade desse método.

¹ Esse tema está apresentado na seção 2.1.1

Uma das principais técnicas utilizadas neste campo é a digitalização baseada em fotos, sendo uma solução eficiente e de custo acessível. Esse processo utiliza uma combinação de ações de captura e comparação entre fotos de um artefato, adquiridas de diferentes ângulos para gerar uma nuvem de pontos (*point cloud*), que, por si só, não tem muita utilidade para os processos de Design, mas, quando combinada com o processamento de softwares específicos, pode gerar uma grande quantidade de informações, dentre elas volume, perímetro, largura e profundidade (WALFORD, 2009).

Apesar de não ser uma tecnologia recente, apenas a partir dos anos 2000 é que a popularização dos sensores de luz e de softwares mais acessíveis permitiu a sua utilização por parte de entusiastas e pequenas empresas. Ainda que exista a possibilidade de obtenção de artefatos tridimensionais utilizando as câmeras e aplicativos de smartphones, ou de uma combinação de câmeras com aplicativo desktop, a qualidade dos objetos gerados é proporcional ao investimento em hardware, softwares e aplicativos.

Segundo Santaella (2013), a popularização dos smartphones e a constante evolução na qualidade de suas câmeras digitais permitem novas formas de uso desses dispositivos. Nessa ótica, tais aparelhos podem ser integrados nos processos de Design, sendo potencializados por suas características de mobilidade.

Ainda nessa linha, Daponte et al. (2013) ressalta que o smartphone é um dispositivo móvel de medição e sua tecnologia, possibilitada pela computação móvel, permite que ele seja utilizado em diversas aplicações: instrumento de comunicação, de produtividade e de pesquisa científica, podendo enriquecer a experiência sensorial do usuário ao adicionar informações em tempo real.

No campo do Design de Embalagens, conforme ressaltam Adamović et al. (2018), é possível verificar usos para os smartphones, que exploram o poder combinado de processamento, GPS, acelerômetros e câmeras a fim de potencializar a utilização da embalagem virtual em sobreposição com o ambiente real, captado pela câmera, o que amplia a realidade e torna tais dispositivos ideais para esse tipo de aplicação.

Sendo cada vez mais aprimoradas e acessíveis, as tecnologias propícias para a obtenção de modelos 3D, por fotogrametria ou digitalização fotogramétrica de baixo custo, poderiam incorporar os avanços implementados nas câmeras de smartphones, com a finalidade de potencializar os projetos de Design estrutural de embalagem.

Em constante evolução e cada vez mais presentes na vida dos Designers, os smartphones e suas câmeras apresentam, com relativa frequência, recursos e capacidades de

hardware e de software, cujas potencialidades para o Design de Embalagens ainda não foram investigadas em sua plenitude.

Nesse contexto, a compreensão de como o processo de fotogrametria de baixo custo pode ser utilizado em projetos de Design estrutural de embalagens tem potencial para apoiar métodos de desenvolvimento de embalagens alimentícias, alinhados com as características de diversidade tanto ambiental quanto cultural do país. Isso permite explorar oportunidades para que o Designer desenvolva produtos que possam atender as diversas demandas sociais, econômicas e de sustentabilidade.

Além da possibilidade no atendimento das demandas citadas anteriormente, existe o interesse em melhorar as ações e os métodos relacionados ao Design estrutural de embalagens para micro e pequenas empresas, buscando facilitar e universalizar processos e tecnologias com a diminuição dos custos e dos desperdícios para a sociedade, almejando uma maior disseminação das atividades do design e da utilização de novas tecnologias.

Dessa forma, o presente trabalho busca responder à seguinte **questão de pesquisa**: Em que medida modelos 3D de produtos alimentícios, gerados por meio da fotogrametria de baixo custo, utilizando smartphones, podem contribuir para o Design estrutural de embalagens?

Na busca de uma resposta para essa questão, o presente estudo investiga a seguinte hipótese: é possível reduzir custos no processo de modelagem tridimensional e de visualização de embalagens estruturais de alimentos, considerando diferentes níveis de resolução das câmeras, quantidade de imagens e uso de softwares livres e, ainda, mantendo o mesmo tempo de execução dos processos mais caros, bem como a qualidade visual e estrutural do modelo final.

1.1 OBJETIVOS

A partir da questão de pesquisa e da hipótese levantada, estabeleceu-se, como objetivo geral do presente estudo, determinar como o uso de modelos tridimensionais, obtidos por fotogrametria realizada com o auxílio de smartphones, pode reduzir os custos associados ao Design estrutural de embalagens.

Os objetivos específicos foram, portanto, estruturados da seguinte forma:

- Adaptar um método de digitalização tridimensional de baixo custo utilizando imagens coletadas por smartphones;
- Identificar e escolher os softwares disponíveis, optando por versões *Free* ou *open source*, para o *workflow* de obtenção de modelos tridimensionais;
- Avaliar o processo de digitalização por fotogrametria de baixo custo em relação a outra tecnologia de digitalização de alto custo;
- Ilustrar possíveis contribuições da digitalização de baixo custo para fases de projeto estrutural de embalagens, geradas por meio de aplicação da malha 3D.
- Sistematizar um fluxo de digitalização de baixo custo para o Design de Embalagens de frutas frescas, utilizando smartphones e softwares *open source*.

1.2 ADERÊNCIA AO PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO

A utilização de ambientes virtuais tem se tornado cada vez mais importante para o desenvolvimento do Design de Embalagens, que envolve a pesquisa de interfaces tanto físicas quanto digitais; a aplicação de prototipagem e simulação virtual; a organização da informação; a gestão eficiente da marca; os processos de comunicação com o consumidor e as relações de produção e de descarte dos produtos.

Com relação à Mídia, o foco desta pesquisa está na utilização de modelos tridimensionais obtidos por métodos de baixo custo para que possam ser explorados nos campos de **interatividade, prototipagem, simulação, ergonomia, experimentação e processos, onde se espera contribuir em questões que envolvam comunicação, ambientes virtuais, animação e desenvolvimento** colaborativo de produtos de Design.

1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Pelo fato de esta pesquisa estar relacionada à redução de custos na obtenção de modelos tridimensionais de alimentos, diversos procedimentos e materiais levaram em conta este fator:

- As imagens iniciais usadas para a geração dos modelos 3D de alimentos frescos são obtidas por câmeras de *smartphone*;

- Foram testados, por sua vez, *smartphones* intermediários e topo de linha, com preços distintos, mas com tamanho mínimo do sensor de 12 megapixels, não importando a data de lançamento;
- Os softwares usados são *open source ou gratuitos* e os equipamentos de informática têm preço acessível;
- Os resultados foram apresentados como objetos em ambiente virtual, *renders*, plantas técnicas.
- Os experimentos foram realizados no Laboratório de Interfaces e Interações em Tecnologia Assistiva (Li2TA) do CEART UDESC, utilizando o equipamento de digitalização Artec Eva Lite em conjunto com um notebook, dentro dos horários permitidos durante o primeiro semestre de 2020.

Nos experimentos, foram empregados apenas alimentos frescos e perecíveis, ou seja, que podiam sofrer deterioração por meio da ação do ambiente, impedindo que fossem armazenados durante longos períodos, requisitando, assim, maiores cuidados na sua conservação.

Utilizaram-se especificamente para os comparativos sete tipos de frutas, com características estruturais e superfícies distintas entre si, mas com um arranjo estrutural e superficial mais homogêneo. Foram, portanto, deixados de fora do processo alimentos cuja estrutura é muito intrincada, como brócolis, ou que possuam volumetria pouco representativa, como folhas de alface.

1.4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA PESQUISA

De acordo com os materiais a serem desenvolvidos e os métodos utilizados, esta pesquisa pode ser classificada segundo a área de conhecimento, a finalidade, o nível de explicação e os métodos adotados, levando em conta as definições de Gil (1991) e Freire (2013), conforme se apresenta a seguir.

1.4.1 Classificação da pesquisa na área de conhecimento

Esta pesquisa está classificada, de acordo com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), na área de Ciências Sociais Aplicadas.

Esta pesquisa é de natureza aplicada, pois visa à aplicação dos conhecimentos gerados para a resolução de problemas da vida real, econômicos e técnicos. Quanto aos objetivos, a pesquisa possui fins explicativo-descritivos, com a aquisição de conhecimentos para emprego em objetivos definidos.

Esta pesquisa tem um caráter qualitativo e quantitativo, buscando um processo lógico e matemático, por intermédio de instrumentos padronizados e análise de dados quantitativos em conjunto com a análise de fenômenos da percepção humana.

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa pode ser definida como bibliográfica, documental, experimental e explicativa.

Com revisão sistemática (Apêndice 01), os instrumentos utilizados serão softwares CAD para simulação e análise de dados geométricos e paramétricos, instrumentos em forma de diagramas de análises e sensores de captura de fenômenos visuais.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este estudo está dividido em cinco capítulos, os quais abordam, em sequência, a introdução, a fundamentação teórica, a proposta metodológica da pesquisa, os resultados e, ao final, as conclusões.

Este primeiro capítulo contextualiza o desafio de baixar custos no mercado de embalagens, gerando um olhar sobre a fotogrametria digital e as tecnologias de câmera digitais de *smartphones*. Aqui foram apresentados o problema de pesquisa, as hipóteses e os objetivos deste estudo.

No capítulo dois, há uma revisão da literatura, cuja finalidade é identificar e compreender a produção científica mais relevante realizada nos últimos anos. Nesse sentido, são apresentados os conceitos de digitalização 3D e Fotogrametria, com foco na utilização de *smartphones*, e faz-se uma relação com os conceitos de *Digital Twin*, mídia, informação, representação e tecnologia para simulação em ambientes virtuais. Os temas embalagens e Design estrutural de embalagens de alimentos são fundamentados, visando a posterior avaliação dos impactos de artefatos 3D, obtidos com o auxílio de câmeras de *smartphones*, para o Design de Embalagens.

No terceiro capítulo, a partir dos objetivos gerais e específicos, apresentam-se os procedimentos metodológicos e os materiais desenvolvidos, com o objetivo de fornecer resposta à questão de pesquisa deste estudo e à hipótese levantada.

O quarto capítulo expõe os resultados e as análises dos processos aplicados.

No quinto e último capítulo, apresentam-se as conclusões, contribuições e sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

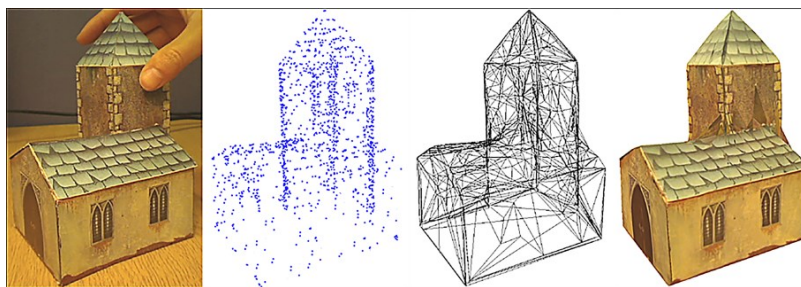
Este capítulo parte de conceitos sobre digitalização e objetos 3D, abordando o Design de Embalagens e focando em temas associados à informação e à mídia para subsidiar as decisões metodológicas e de materiais que darão suporte aos experimentos realizados.

2.1 DIGITALIZAÇÃO 3D

Em um projeto de Design que utiliza ambientes virtuais tridimensionais, os objetos em estudo geralmente possuem volume e forma, sendo gerados por modelagem ou pela captura do ambiente físico utilizando-se digitalização 3D.

A digitalização 3D funciona, em geral, por meio de uma varredura medindo a localização dos pontos de uma superfície no espaço (X, Y e Z). Os scanners 3D mais populares, usualmente, trabalham com a técnica de triangulação e, depois de finalizada a varredura do objeto a ser digitalizado, é obtido o mapeamento ponto a ponto da superfície, gerando uma nuvem de pontos (SILVA, 2011). Após o processamento dos dados, obtém-se uma malha tridimensional que representa um modelo 3D (Figura 2), que pode ser reproduzido por equipamentos de usinagem CNC ou impressoras tridimensionais (BRENDLER; SILVA; TEIXEIRA, 2015).

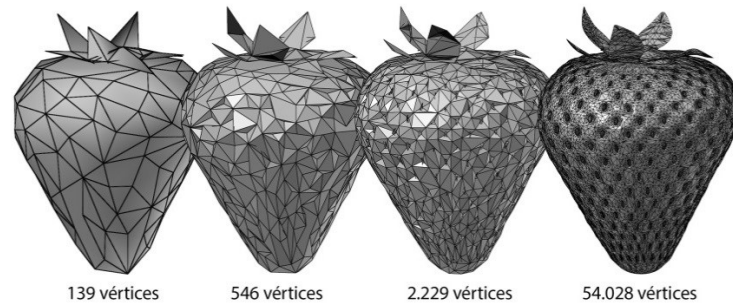
Figura 2 - Etapas do processo de digitalização 3D



Fonte: phys.org (2009).

Quando um artefato físico é digitalizado, ele apresenta uma gama de possibilidades em termos de resolução de sua malha tridimensional, que pode interferir na percepção do objeto pelo observador e, conforme a quantidade de dados, alterar o desempenho de sistemas computacionais (Figura 3).

Figura 3 - Níveis de resolução de um modelo tridimensional



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

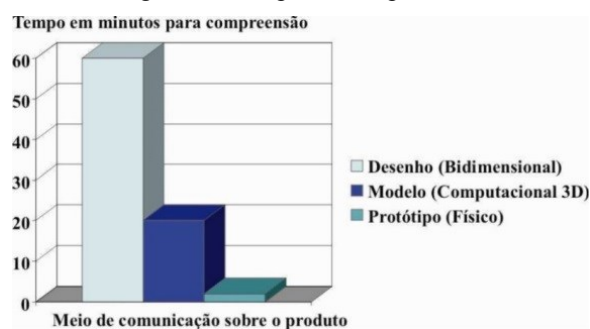
Para Bertin e Westphalen (1986), tratar os dados é simplificá-los sem destruí-los, é reduzir os dados de forma útil e pertinente. Através de interpretação, decisão e comunicação, a informação é a resposta a uma questão que revela suas relações internas e externas referentes ao sistema adotado.

Isso reforça o argumento de que o processo de digitalização 3D é um processo de aquisição e tratamento de informações que precisa ser refinado para atingir os propósitos de visualização e de compreensão da informação, além da otimização do artefato para uso em ambientes virtuais, representação e simulação.

De acordo com Wong (2001), vivemos em um mundo tridimensional, sendo o mundo bidimensional uma criação humana. O entendimento do objeto tridimensional nunca pode ser completo quando tomado de uma única imagem de ângulo fixo. Para entender um objeto tridimensional, deve-se observá-lo de diferentes ângulos.

Para Saura (2003), muitas vezes, a percepção espacial de um objeto pode ser de difícil interpretação. A representação de um modelo virtual tridimensional acarreta uma compreensão mais rápida do que as suas representações bidimensionais, seja em papel seja no computador, perdendo apenas para um modelo físico tátil, conforme a Figura 4.

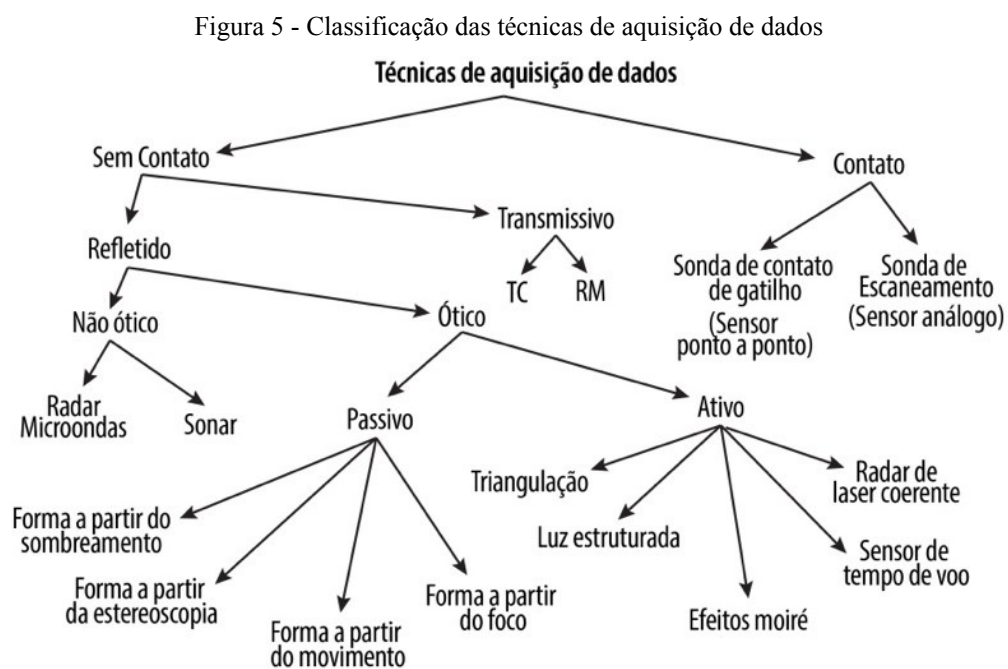
Figura 4 - Tempo de compreensão



Fonte: Saura (2003).

A digitalização 3D tem sido aplicada em diversos campos do conhecimento, tais como: arquitetura e engenharia civil (CHEN et al., 2015), ciência dos materiais (CINTAS, 2016), engenharia reversa (GENGHINI, 2013), ergonomia (CATAPAN, 2014), medicina (PINHEIRO, 2016; ALONSO; DORNELLES, 2017), moda (PERCOCO, 2011; CONCEIÇÃO, 2017), odontologia (ALLAREDDY, 2016), tecnologia assistiva (BRENDLER, 2013), preservação de patrimônio histórico (VITALI, 2017; MAS-BARBERÀ, 2018), e arqueologia (BATES et al., 2014).

Dependendo da técnica de aquisição, a digitalização tridimensional pode ser dividida em duas categorias principais: digitalização com e sem contato físico com a peça (FREITAS, 2006). Ameen, Al-Ahmari e Mian (2018) afirmam que o objetivo principal da aquisição de dados em 3D é coletar e registrar informações relativas à forma do objeto e as suas dimensões, usando sondas de toque (contato) ou sistemas ópticos (sem contato), conforme ilustra a Figura 5.



TC: Tomografia computadorizada; RM: Ressonância magnética.

Fonte: Traduzido de Al-Ahmari et al (2018).

No método de contato, uma sonda encosta na superfície do objeto, enquanto na abordagem sem contato, não há toque nessa superfície.

Segundo Thiago (2017), os métodos por contato trazem vantagens em termos de precisão, porém, podem danificar ou executar medições imprecisas em objetos frágeis ou macios devido à deformação dos mesmos.

Métodos sem contato baseiam-se em diferentes técnicas, incluindo fotogrametria, triangulação e *Time of Flight*, bem como utilizam várias fontes de luz, como laser e luz branca.

De acordo com D'Apuzzo (2006), os scanners a laser e de luz branca possuem uma alta resolução, entretanto, apresentam têm custos mais elevados.

Existem opções de digitalizadores 3D que permitem atender demandas específicas, como, por exemplo, o SENSE-RS (Figura 6) capaz de ser utilizado para análise ergonômica.

Figura 6 - SENSE-RS



Fonte: 3Dsystems (2018).

O digitalizador Sense-RS utiliza a tecnologia *time of flight*, semelhante ao Kinect e, até dezembro de 2018, apresentava um custo de 499,00 dólares, e sua área de captura alcança um volume máximo de 2m x 2m x 2m e um volume mínimo de 0,2m x 0,2m x 0,2m. Sua resolução é de 0,9 mm e necessita de Hardware core I5, 2GB de RAM e sistema Windows 8.

O Escâner Atos Compact Scan 5M (Figura 7), próprio para projetos industriais detalhados, apresenta um custo muito elevado e praticamente inviável para aquisição de pequenos e médios escritórios de Design.

Figura 7 - ATOS compact scan 5M



Fonte: Gom (2018).

O digitalizador Atos Compact Scan 5M utiliza a tecnologia *fotogrametria por luz azul*, custa aproximadamente 50 mil dólares e alcança uma área máxima de 1,2m x 0,9m e uma área mínima de 0,045m x 0,35m. Sua resolução é de 0,02 mm, necessitando de Hardware robusto e sistema Windows 8.

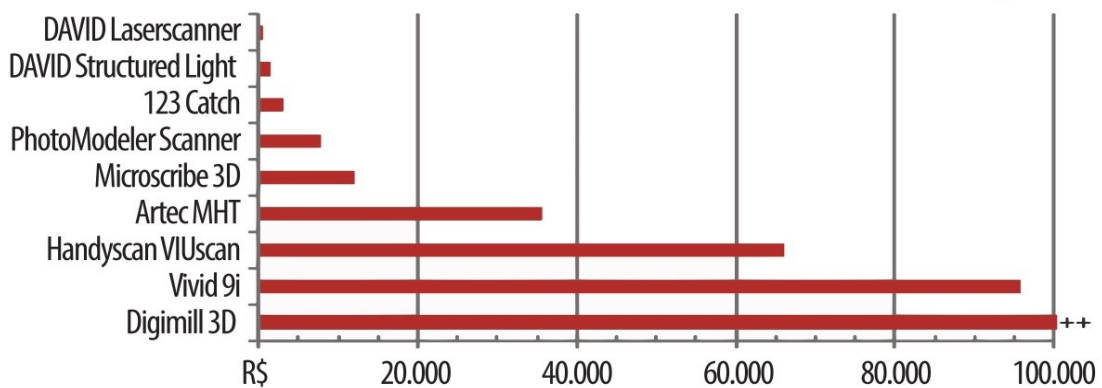
Em pesquisa realizada pela internet, em novembro de 2018, no buscador Google[®], o valor de um scanner 3D no mercado nacional custava mais de 3.000,00 reais. Em comparação, um celular com câmera de 16 megapixel de resolução custava entre R\$ 500,00 e R\$ 600,00 reais.

Comparativos entre sistemas de digitalização podem servir para categorizar equipamentos e técnicas de digitalização 3D. A Figura 8 mostra uma tabela e um gráfico desenvolvidos por Silva (2011), com um comparativo entre modelos e sistemas de digitalização, através de suas resoluções e custos, demonstrando o potencial dos nove sistemas classificados e analisados.

Figura 8 - Classificação das técnicas de aquisição de dados

| Classificação | | Sistema de Digitalização | resolução nominal* | precisão nominal* | velocidade | Peso da unidade | |
|---------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|--------------|-----------------|----------|
| Sem Contato | Laser | Conoscopia | Digimill 3D (1) | 0,1 | <0,035 | 1.000 pt/s | 1.000 kg |
| | | Triangulação | Vivid 9i (2) | 0,2 | 0,032 | 340.000 pt/2,5s | 15 kg |
| | Handyscan VIUscan (3) | | 0,1 | 0,050 | 18.000 pt/s | 1,3 kg | |
| | DAVID Laserscanner (4) | | ● | 0,400 | manual | 0,4 kg | |
| | Artec MHT | | 0,5 | 0,100 | 500.000 pt/s | 1,6 kg | |
| | DAVID Structured Light (4) | | ● | 0,400 | ● | 2,6 kg | |
| | Luz Branca | Passivo (Fotografia) | PhotoModeler Scanner (5) | 1 | 0,500 | processamento | 0,9 kg |
| 123 Catch (6) | | ● | ● | processamento | 0,9 kg | | |
| Contato | | Microscribe 3D (7) | 20 | 0,380 | manual | 5,4 kg | |

● não informado



Fonte: Adaptado de Silva (2011).

Conforme Thiago (2017, *apud* GRIMM & ASSOCIATES, 2010), além de critérios técnicos para a escolha do método e do equipamento de digitalização tridimensional, é possível seguir outros requisitos que auxiliem na seleção de um *scanner* 3D de acordo com o tipo de aplicação a que se destina, como Design industrial, Design estético, replicação e Design de Embalagens, conforme sintetizado no Quadro 1.

Quadro 1 - Critérios para escolha de um scanner

| Requerimentos do escaner | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------|-----------|------------|---------|--------------|--------------|-------------------|---------------|
| Aplicação | Exatidão | Resolução | Mobilidade | Alcance | Tempo | | Facilidade de uso | Versatilidade |
| | | | | | Configuração | Escaneamento | | |
| Manufatura | | | | | | | | |
| Análise comparativa de produtos | ●●● | ●●● | ●● | ●● | ●● | ● | ● | ●●● |
| Arquivos digitais | ●●● | ●●● | ●● | ●●● | ●● | ●● | ● | ●●● |
| Design estético | ● | ●● | ● | ● | ●● | ●● | ●●● | ●● |
| Modernização e <i>aftermarket</i> | ●● | ●● | ●●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●●● |
| Replicação | ●●● | ●●● | ●● | ● | ●● | ●● | ●● | ●●● |
| Design industrial e mecânico | ●●● | ●● | ● | ●● | ● | ● | ●● | ●●● |
| Fabricação de ferramentas | ●●● | ●● | ●●● | ●● | ● | ● | ● | ●● |
| Design de embalagens | ●●● | ●●● | ● | ●● | ●● | ●● | ●●● | ● |
| Saúde | | | | | | | | |
| Aplicações médicas | ●●● | ●●● | ● | ● | ●● | ●● | ●●● | ● |
| Patrimônio Histórico | | | | | | | | |
| Preservação histórica | ● | ●● | ●●● | ●●● | ●●● | ●●● | ●●● | ●● |
| Artes e Entretenimento | | | | | | | | |
| Design gráfico | ● | ●●● | ● | ●● | ● | ●● | ●●● | ●●● |

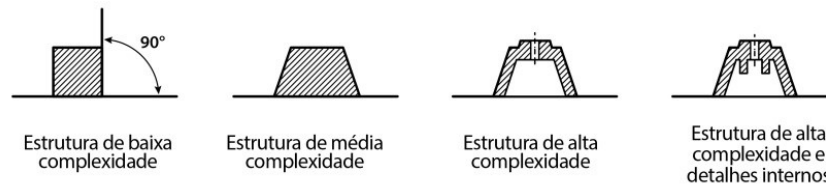
Critério mais importante

 Critério secundário
 Critério menos importante

Fonte: Thiago 2017, *apud* T. A. Grimm & Associates (2010).

De acordo com Medeiros (2017), um modelo pode apresentar características formais referentes à sua complexidade e esse fator pode ser levado em consideração para a escolha do método de digitalização que possa capturar os níveis de detalhamento do objeto real, conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 - Níveis de definição de um objeto físico



Fonte: Medeiros (2017).

D'Apuzzo (2006) também apresenta elementos que podem auxiliar na decisão para a escolha do método de escaneamento: o que vai se medir; a qualidade e a resolução desejadas dos dados extras, como cor e textura; o espaço e as limitações físicas do processo; as limitações de mobilidade e facilidade de operação; o processamento computacional ser em tempo real ou automatizado; os conhecimentos técnicos necessários ao operador; as capacidades de hardware do *Workstation*; as condições desejáveis do ambiente, como luz e ruídos atmosféricos.

2.1.1 Fotogrametria

A Fotogrametria não é uma tecnologia recente, e, conforme Brito e Coelho (2007):

[...] fotogrametria é a ciência e tecnologia de se reconstruir o espaço tridimensional, ou parte do mesmo (espaço-objeto), a partir de imagens bidimensionais, advindas da gravação de padrões de ondas eletromagnéticas (espaço-imagem), sem contato físico direto entre o sensor e o objeto ou alvo de interesse (BRITO; COELHO, 2007, p.16).

Ainda segundo Brito e Coelho (2007), a história da moderna fotogrametria inicia no século XIX e sua evolução começa com a denominada Fotogrametria pioneira (1840-1900), que surge após a invenção da fotografia, com as primeiras tentativas em fotografias aéreas para a utilização em documentação de edifícios.

Após esse período, aparece a Fotogrametria analógica (1901-1950), com o desenvolvimento da fotografia aérea de larga escala, com os avanços nos processos de comparação de imagens por meio de aparelhos óptico-mecânicos e câmeras especiais juntamente com a especialização na técnica de fotogrametria de cartas topográficas, além da criação das primeiras associações e entidades.

A próxima etapa no desenvolvimento da Fotogrametria trouxe a fase conhecida como Analítica (1951-1990), em que se destacam acontecimentos como o surgimento do

computador, a análise e o processamento de múltiplas imagens e a adoção de câmeras comuns. A Fotogrametria digital (1990-hoje) se consolida como o advento de imagens e dados digitais apoiados por sistemas CAD.

A partir dos anos 2000, de acordo com da Silva (2015), a integração entre os sistemas computacionais e as câmeras digitais impulsionou a utilização da fotogrametria em campos como engenharia, robótica, animação, inteligência artificial e geociência. Atualmente, um campo que vem sendo desenvolvido é o mapeamento por fotogrametria digital utilizando veículos aéreos não tripulados (VANTS).

Brito e Coelho (2007) apresentam um quadro com os principais tipos de fotogrametria, levando em consideração as diferenças entre os processos analógicos e digitais (Quadro 2).

Quadro 2 - Evolução e diferenças do processo de fotogrametria

| Fotogrametria | Entrada | Processamento | Saída |
|---------------|--|-----------------------------|---|
| Analógica | Fotografia analógica (em filme) | Analógico (óptico-mecânico) | Analógica (scribes ou fotolitos) no passado ou digital (CAD, por exemplo) no presente |
| Analítica | Fotografia analógica (em filme) | Analítico (computacional) | Analógica (scribes ou fotolitos) no passado ou digital (CAD, por exemplo) no presente |
| Digital | Imagem digital (obtida de câmara digital, por exemplo) ou digitalizada (foto analógica submetida a um scanner) | Analítico (computacional) | Digital |

Fonte: Brito e Coelho (2007).

Para Luhman (2006), a fotogrametria *Close Range* é baseada na sua análoga, a fotogrametria aérea de largo alcance, porém em escala reduzida. Utilizando comparadores digitais e processamento de imagens, a fotogrametria *close range* pode oferecer um potencial de mensuração de até 0.05 mm para um objeto de 2 metros. A combinação de alta resolução e modo automático das câmeras digitais com mobilidade e flexibilidade aliadas a aplicativos específicos está tornando esta técnica uma alternativa aceitável para uma larga variedade de aplicações industriais que envolvam testes de aceitação e mensuração.

Conforme Bruscato et al. (2016), em um processo de aquisição por multi-imagens, o resultado final da reconstrução tridimensional depende de fatores como iluminação, estabilização, dimensões e especificação do sensor. Um sensor com maior capacidade em megapixels capta mais detalhes, no entanto, gera um tempo maior de processamento. Outro elemento que influencia no resultado é a distância focal (entre a lente e o sensor da câmera). Da mesma forma, a distância do objeto em relação à câmera ou área de interesse deve ser levada em conta, o que resulta no detalhamento maior dos modelos 3D gerados quando os objetos estão bem enquadrados (Figura 10).

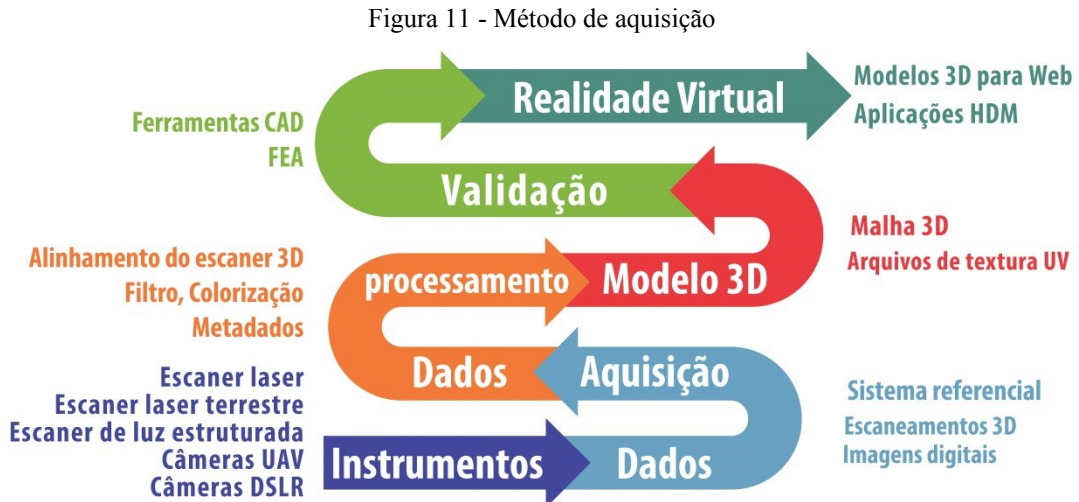
Figura 10 - Exemplos de enquadramentos corretos e incorretos para captura de imagens



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

De acordo com McCarthy (2014), a fotogrametria multi-imagem é uma técnica que utiliza o mínimo de *input* manual, contando com um conjunto de software e hardware para automatizar o processo de calibração e extração de uma série de imagens digitais adquiridas em uma sequência de posições e ângulos diferentes de um objeto, gerando um modelo tridimensional de alta resolução de pontos. A evolução das câmeras digitais, do processamento computacional e dos softwares também contribui para a qualidade e para o melhoramento do processo.

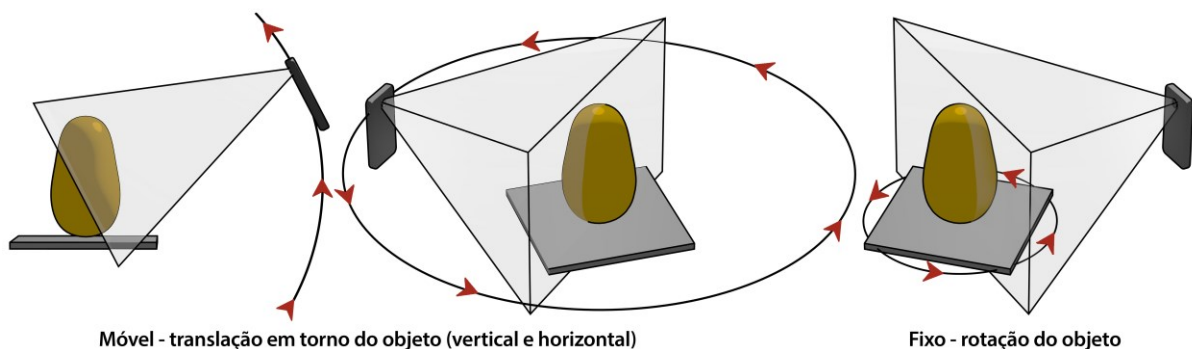
O procedimento, segundo Alencastro (2018), envolve tanto a escolha do instrumento, no caso, uma câmera digital, como a preparação do objeto e do cenário, atentando-se para as variáveis de luminosidade e do tipo de material da superfície a ser digitalizada, o que pode ser visualizado, de forma resumida, na Figura 11.



Fonte: Traduzido de Bodi et al. (2018).

No momento da aquisição, executa-se a coleta dos dados por meio de captura de imagens, em sequência, podendo ser por câmera fixa ou móvel, como exemplificado na Figura 12, envolvendo uma quantidade de sobreposição do enquadramento (acima de 50%) entre as imagens. Quanto maior esse *overlap*, maior a redundância e a consequente resolução do objeto.

Figura 12 - Tipos de abordagem para coleta das imagens



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Outro fator importante é a variação da escala de cada imagem em relação ao enquadramento, que deve estar em torno de 5%.

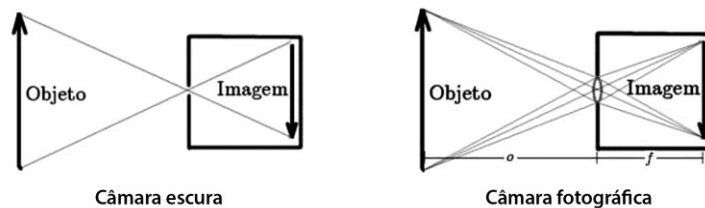
Em seguida, as imagens são processadas e filtradas por um software ou um conjunto de aplicativos, gerando uma nuvem de pontos que será submetida a um processo de construção geométrica.

A partir desse ponto, o objeto está pronto para ser submetido aos diversos tipos de refinamento, e, dependendo da finalidade, pode receber uma reorganização no fluxo dos elementos poligonais por meio de retopologia (rearranjo da direção do fluxo de faces e arestas) da superfície ou ser aplicado em provas virtuais em softwares CAD.

2.1.2 Câmera digital e *Smartphone*

De acordo com Brito e Coelho (2007), as câmeras fotográficas são baseadas em um princípio simples (Figura 13), que se mantém até os dias atuais.

Figura 13 - Princípios de Câmera fotográfica



Fonte: Brito e Coelho (2007).

Fatores como abertura da lente, tempo de exposição e distância focal influenciam na nitidez das imagens, não existindo uma relação ideal para as diversas variáveis envolvidas, cabendo ao operador decidir a combinação ideal desses aspectos para a captura da imagem. Com o aprimoramento dos equipamentos e dos processos de automatização, muitas dessas relações podem ser controladas.

Os smartphones possuem uma ou mais câmeras, apresentando vantagens e desvantagens em relação a outras câmeras digitais tradicionais. O principal e mais evidente ponto fraco é o conjunto do corpo e da lente, que não pode ser intercambiável. Outro fator importante a favor das câmeras tradicionais é a sua especialidade para o propósito que foram concebidas. Como principal vantagem, os smartphones possuem um conjunto integrado de aplicativos e sensores que auxiliam e exigem menos capacidade técnica do operador.

Outra característica importante dos smartphones é a sua portabilidade e, segundo Santaella (2013), participarem do processo que tornou possível a ubiquidade atual, que é a

coordenação de dispositivos móveis, inteligentes e estacionários para prover acesso imediato e universal a serviços e informação em qualquer lugar e em qualquer hora.

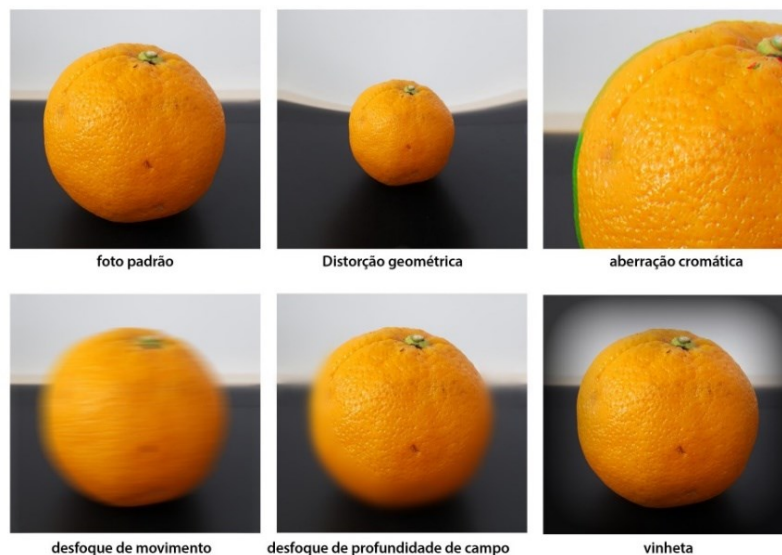
De acordo com Seo (2016), os smartphones vêm sendo aprimorados em performance durante a última década e, quando calibrados, possuem capacidades de mapeamento, detecção geométrica e radiométrica semelhantes às câmeras digitais DSRL.

Jones (2017) afirma que, devido a capacidades automáticas, os *smartphones* podem fornecer um nível de nitidez com maior rapidez e sem necessidade de habilidades técnicas do operador.

Para Nguyen (2018), o rápido e espontâneo uso do smartphone e a constante acessibilidade à câmera leva a preferência sobre os modelos tradicionais de câmeras. Além da simplicidade de operação e das opções automáticas, os usuários percebem que, para obterem resultados profissionais, é preciso investir em câmeras específicas. Aspectos como nitidez e resolução são os fatores de maior importância na escolha de uma câmera de smartphone.

De acordo com Brito e Coelho (2007), os principais problemas que afetam a aquisição de imagens são as aberrações geométricas e cromáticas, distribuição de luz no plano focal, arrastamento da imagem, vinheta (quando a borda da lente se torna visível), além das características dos materiais fotografados, como reflexão e refração (Figura 14).

Figura 14 - Problemas na aquisição de imagens



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Stachniss (2015) afirma que a luz é a principal influência no processo de aquisição e que o seu controle é importante porque não existe imagem sem ela.

A fotogrametria multi-imagens apresenta um grande potencial de aplicação, visto que, como método, restringe-se apenas aos estágios de evolução dos equipamentos e tecnologias. Isso significa que o método pode evoluir à medida em que novos elementos do sistema, como aplicativos, hardware e câmeras, são adotados, contrastando com os sistemas proprietários que dependem do ciclo de vida do produto e do ecossistema de aplicativos para funcionarem em harmonia.

2.1.3 O objeto tridimensional

Para que exista a possibilidade de interação entre os variados elementos de um projeto de Design estrutural de embalagens em ambientes virtuais, é preciso que alguns elementos sejam conhecidos e mensurados. Dentre eles estão os produtos que deverão ser acondicionados, no caso os alimentos que, no processo, passam a ter uma versão virtual de sua forma física, conhecida como objeto 3D.

Conforme Chen (2015), a engenharia reversa é um método que, a partir de objetos reais, reconstrói-se e interpreta a ideia anterior a sua realização, no caso o objeto 3D. Esses processos dependem fortemente das condições dos modelos, como dimensões e materiais, e de levantamentos manuais utilizando-se equipamentos como trenas, paquímetros e fotografias.

Segundo Wong (2001), o desenho tridimensional se ocupa do mundo tridimensional e procura estabelecer interesse visual intencional, além de ordem e harmonia visual. Um desenho tridimensional pode ser concebido no pensamento antes de ser materializado. Seus elementos podem ser: conceituais: ponto, linha, plano e volume; visuais: formato, tamanho, cor e textura; relacionais: posição, direção, espaço e gravidade; e construtivos: vértices, arestas e faces.

Conforme Benyon (2011), o entendimento da percepção de profundidade é essencial para o Design aplicado em espaços 3D virtuais. A percepção de profundidade é dividida em indicadores primários e secundários. Os indicadores primários se baseiam nas informações obtidas pelos dois olhos (disparidade retiniana, visão estereoscópica, acomodação e convergência) e utilizam músculos e imagens formadas sobre a retina para focalizar, sugerir e informar distâncias, tridimensionalidade e profundidade. Os secundários são baseados na visão monocular e são à base da visão de profundidade: luz e sombra, perspectiva linear,

altura no plano horizontal, paralaxe de movimento, superposição, tamanho relativo e gradiente de textura.

Para Cunha (2014), os objetos de malha poligonal 3D, entre as várias maneiras de representação, proporcionam um meio eficaz de representar objetos complexos em meios de realidade virtual e de visualização científica. Com a finalidade de atingir alto grau de realismo, utilizam-se várias formas de obtenção de modelos 3D, como a modelagem e a digitalização. A geometria contém dados que podem representar vários atributos, como coordenadas de textura e materiais de reflexão.

A possibilidade de inserção de objetos tridimensionais complexos, no fluxo de um projeto de Design estrutural de embalagem, abre novas possibilidades para a inovação e pesquisa em Design, além de ampliar as possibilidades de resolução de problemas em determinadas fases de um projeto de embalagem.

2.2 EMBALAGENS

A embalagem não possui um único conceito definido. Lincoln Seragini, no prefácio de Negrão (2008), estabelece que sem a embalagem não seria possível o crescimento da população mundial nem o surgimento das cidades, sendo ela uma necessidade vital.

Jorge (2013) conceitua embalagem das seguintes formas:

São várias as definições que podem ser apresentadas para a embalagem:

- Sistema coordenado de preparação de produtos para transporte, distribuição, armazenamento e uso final;
- Meio de assegurar o envio de produtos ao consumidor final, em condições ótimas e a baixo custo;
- Função técnico-econômica de diminuir o custo de distribuição e aumentar as vendas;
- Arte, ciência e tecnologia de preparar produtos para transporte e venda (JORGE, 2013, p.19).

Corroborando a outras definições, Castro (2003) afirma que o conceito de embalagem raramente é apresentado de forma perfeitamente inteligível e suficientemente universal:

Assim, para uns a embalagem é a arte, ciência e tecnologia de preparar mercadorias para transporte e venda; para outros, meios de garantir a perfeita entrega de um produto ao último consumidor, em boas condições de segurança e ao menor custo total. São duas ópticas, são duas perspectivas, como tal restritivas, mas complementares.

Com preocupação um pouco mais abrangente, outros proclamam que embalagem deve ser considerada como parte integrante do processo de produção, e que a

economia de produção deve inserir no seu conceito não apenas o ato de criar bens, mas também as ações que envolvem o processo de colheita, conservação, transporte e oferta ao consumidor (CASTRO, 2003, p.298).

As embalagens surgiram séculos atrás quando a humanidade precisou acondicionar e transportar mercadorias. Por meio da utilização de materiais como folhas e couro o homem começou a desenvolver artefatos em forma de cestos, barris, ânforas e bolsas (CARMO; CHAGAS, 2006).

Para Calver (2009), inicialmente a embalagem possuía uma função utilitária e, ao longo dos séculos, sua evolução acompanhou os avanços nas áreas de tecnologia e transporte bem como as transformações da sociedade. Com o suporte dos avanços tecnológicos, as embalagens puderam evoluir em todos os aspectos, respondendo às mudanças do estilo de vida dos consumidores.

Conforme Camilo (2011), no Brasil, as embalagens obtiveram o primeiro impulso produtivo com a chegada da família real, no início do século XIX, fazendo parte do processo de industrialização do país e, na atualidade, a embalagem deixou de representar apenas um objeto que acondiciona um produto e passou a participar diretamente das estratégias mercadológicas das empresas tanto como imagem da marca e do produto quanto como inovação e criatividade, gerando empregos e competitividade, além de enfrentar os desafios próprios do país, como a infraestrutura e sustentabilidade. Ainda, segundo Camilo (2011):

Apesar de ter avançado nas últimas décadas, o fato é que poucas empresas utilizam todo o potencial que o design e a tecnologia da embalagem podem oferecer para melhorar a competitividade e lucratividade de seus negócios. Quando bem projetada, a embalagem pode se transformar em ícone de grande valor para as marcas (CAMILO, 2011, p.27).

De acordo com Mestriner (2018), a embalagem evoluiu por meio de aperfeiçoamento técnico e científico e nos dias de hoje essa característica de inovação é um fator importante na estratégia de competitividade das empresas, estando presente em um grande número de produtos, principalmente em termos de materiais e processos.

2.2.1 A Indústria de Embalagens

O mercado de embalagens vem apresentando taxas constantes de crescimento em todo o mundo, segundo pesquisas da ABRE/FGV (2018).

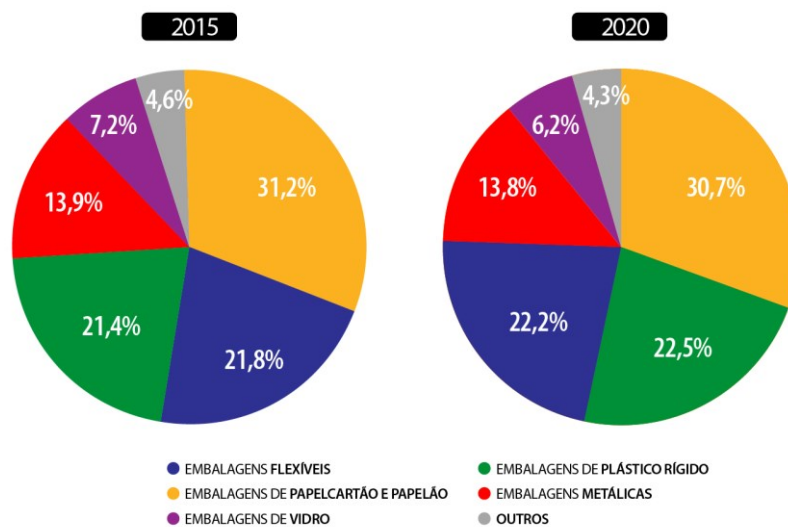
Apesar de o setor industrial brasileiro ser impactado pelos problemas econômicos dos últimos anos, o setor de embalagens sofreu variações mais amenas ao manter um crescimento de 5% ao ano, gerando emprego e oportunidades para a área de Design. A indústria de embalagens é tão relevante que é apontada como indicador do movimento econômico e industrial do país (NEGRÃO, 2008).

A indústria de alimentos e bebidas é, no mundo, uma das maiores usuárias de embalagens, respondendo por 60% da demanda.

Segundo Smithers Pira, em 2016, a previsão era de que, conforme um estudo, o setor de embalagens para alimentos e bebidas deveria movimentar US\$ 43 bilhões (FAIRPACK, 2018).

O mercado global de embalagens produzidas possui uma estimativa de crescimento de 3,5% ao ano e pode chegar a 2020 com quase um trilhão de dólares. A Figura 15 ilustra esse aspecto por segmentos de insumos.

Figura 15 - Estimativa de produção global de embalagens entre os anos de 2015 e 2020



Fonte: Adaptado de Shehabuddeen et al. (2000).

O estudo exclusivo macroeconômico da indústria brasileira de embalagem, realizado pelo IBRE (Instituto Brasileiro de Economia)/FGV (Fundação Getúlio Vargas) para a ABRE (Associação Brasileira de Embalagem) (2018), demonstra que o valor bruto da produção física de embalagens atingiu o montante de R\$ 71,5 bilhões, caracterizando um aumento de aproximadamente 5,1% em relação aos R\$ 68 bilhões alcançados em

2016. A produção industrial de embalagens brasileira correspondeu, em 2017, a 1,02% do PIB (ABRE 2018).

Devido ao crescimento do consumo global e à tendência de aumento da demanda por produtos embalados, a geração de empregos e oportunidades para a área de Design deve ser levada em consideração.

Com o seu amadurecimento e consolidação tecnológica, a embalagem desempenha um papel fundamental na sociedade atual através da proteção de produtos e alimentos durante o transporte, manuseio, armazenamento e conservação, além de comunicar e facilitar o consumo.

2.2.2 Embalagens e alimentos

Conforme consta no Guia alimentar para a população brasileira (2014), do Ministério da Saúde, os alimentos são divididos em quatro categorias, definidas conforme o tipo de processamento empregado.

A primeira categoria reúne os alimentos *in natura* ou minimamente processados, que são aqueles obtidos diretamente de plantas ou de animais (como folhas e frutos ou ovos e leite) e adquiridos para consumo sem que tenham sofrido qualquer alteração após deixarem a natureza. Os alimentos minimamente processados são alimentos *in natura* que, antes de sua aquisição, foram submetidos a alterações mínimas. Exemplos desses são grãos secos, polidos e empacotados ou moídos na forma de farinhas, raízes e tubérculos lavados, cortes de carne resfriados ou congelados e leite pasteurizado.

A segunda categoria corresponde a produtos extraídos de alimentos *in natura* ou diretamente da natureza e usados pelas pessoas para temperar e cozinhar alimentos e criar preparações culinárias. Exemplos desses produtos são: óleos, gorduras, açúcar e sal.

A terceira categoria corresponde a produtos fabricados essencialmente com a adição de sal ou açúcar a um alimento *in natura* ou minimamente processado, como legumes em conserva, frutas em calda, queijos e pães.

A quarta categoria corresponde a produtos cuja fabricação envolve diversas etapas e técnicas de processamento e vários ingredientes, muitos deles de uso exclusivamente industrial. São exemplos os refrigerantes, os biscoitos recheados, os “salgadinhos de pacote” e o “macarrão instantâneo”.

Os alimentos não são produtos estáveis, segundo Castro (2003), e podem sofrer com envelhecimento e mudanças microbiológicas, como aparecimento de bactérias e de

bolores. Também podem apresentar reações químicas ou físicas, como hidratação e dissolução, sofrendo com humidade, oxigênio e luz, além de infestações por insetos, interação com o ambiente externo, como temperatura, manuseio e contato com a embalagem.

A digitalização 3D em um projeto de design estrutural de embalagem de alimentos pode minimizar os impactos gerados pela fragilidade física e biológica dos alimentos. Por meio de uma cópia digital de um produto que sofrerá rápida deterioração é possível capturar e armazenar dados sobre a estrutura dos produtos, como volumetria, forma e superfície, que são importantes para o desenvolvimento de um projeto de embalagens. Com a possibilidade de recuperar essas informações em qualquer momento do projeto, é possível visualizar e testar conceitos sem a necessidade de uma nova coleta de dados. Com essas informações armazenadas, os projetos podem ocorrer em períodos de entressafra, além de gerar uma biblioteca virtual dos elementos para futuras comparações entre espécies selecionadas.

As embalagens de alimentos podem ser desenvolvidas com qualquer insumo do mercado global de embalagens, bastando que ela seja compatível com o produto alimentar. Além do design estrutural, embalagens de alimentos frescos perecíveis podem ser desenvolvidas levando em consideração os aspectos químicos e físicos, visando à proteção do produto contra doenças por meio de embalagens bioativas, as quais agem contra micro-organismos (NETO, 2018).

A classificação de embalagens de alimentos, segundo Jorge (2013), é apresentada conforme o quadro 3.

Quadro 3 - Embalagens rígidas, semirrígidas e flexíveis

| Embalagens rígidas, semi-rígidas e flexíveis | | | | |
|---|---|---|--------------------|---|
| Embalagens | Metálica | Plástica | Vidro | Papel |
| Rígidas | Latas em folha de flandres e alumínio | Bandejas, garrafas, potes, grades e caixas | Garrafas e frascos | Caixas de papelão |
| Semi-rígidas | Bandejas de alumínio | Bandejas em poliestireno expandido Frascos, copos e potes termo-formados | – | Caixas e cartuchos em cartolina Bandejas e alvéolos em polpa moldada |
| Flexíveis | Folha de alumínio Estruturas laminadas | Filmes Estruturas laminadas | – | Folha de papel Estruturas laminadas |

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (2003 apud JORGE, 2013, p.22.

Além de serem classificadas estruturalmente como rígidas, semirrígidas ou flexíveis, as embalagens podem, em alguns casos, ser categorizadas conforme a espessura do material utilizado na estrutura, encontrando-se embalagens de madeira, cortiça e têxteis.

Os plásticos são materiais sintéticos ou provenientes de substâncias naturais, na sua maioria, derivados de petróleo, apresentado as seguintes características: leve, inquebrável, resistência mecânica e térmica relativa, barreira e inércia relativa, não reutilizável, reciclável, possibilidade de combinação com outros plásticos, com alumínio e com papel (CAMILO, 2011).

Conforme Jorge (2013), o papel consiste, essencialmente, num aglomerado de fibras celulósicas, de diferentes tamanhos, de origem natural, afiladas e entrelaçadas umas com as outras e, finalmente, prensadas, oferecendo uma superfície adequada para colar, escrever ou imprimir. O papel apresenta as seguintes características: várias espessuras e formatos, combinação com vários materiais para formar produtos laminados ou revestidos, baixa resistência mecânica, baixa barreira, falta de inércia, resistência à baixas temperaturas, boa impressão, baixo peso e capacidade para ser reciclável.

Algumas das características físicas, estruturais e formais do papel e do plástico podem ser simuladas em softwares de análise e projeto CAD², *mockups*³ e modelos virtuais e, em conjunto com os objetos 3D digitalizados, participar dos processos de geração de alternativas e detalhamento técnico no desenvolvimento de embalagens.

As embalagens de alimentos são reguladas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (ANVISA, 2018):

A [Lei nº 9.782/1999](#) estabelece no art. 8º, §1º, inciso II que é competência da Agência regulamentar, controlar e fiscalizar alimentos e suas embalagens. A Lei estabelece, também, que “submetem-se ao regime de vigilância sanitária as instalações físicas, equipamentos, tecnologias, ambientes e procedimentos envolvidos em todas as fases dos processos de produção dos bens e produtos submetidos ao controle e fiscalização sanitária, incluindo a destinação dos respectivos resíduos” (Art. 8º, §3º).

Os materiais em contato com os alimentos podem conter substâncias nocivas à saúde humana. A legislação sanitária de embalagens está organizada por tipo de material, ou seja: plástico, celulósico, metálico, vidro, têxtil e elastomérico. Além disso, algumas

² CAD - *Computer Aided Design*

³ *Mockups* - Modelos de estudo volumétrico

normas estabelecem princípios gerais referentes a materiais em contatos com alimentos e requisitos específicos que se aplicam a alguns materiais. (ANVISA, 2018).

2.2.3 Atribuições da embalagem

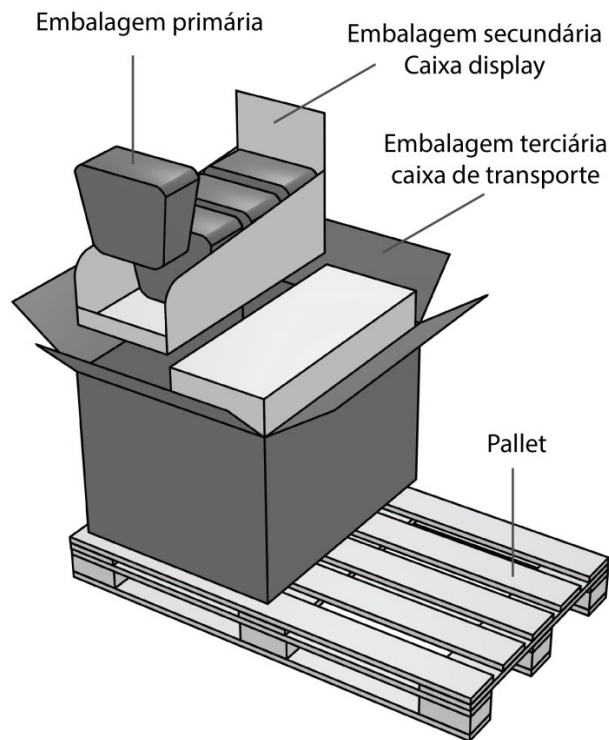
A embalagem desempenha funções importantes para a sociedade, a economia e a indústria. Além das atribuições básicas de contenção, proteção e transporte de produtos, a embalagem pode apresentar as seguintes funções: proteger a saúde do consumidor e da sociedade; evitar desperdícios, minimizando os impactos ambientais; educar e informar, contribuindo para a inclusão social; facilitar o cotidiano do consumidor, adaptando-se às necessidades racionais e emocionais dos mesmos; participar das estratégias de venda e promoção das empresas; agregar valor às marcas. (ABRE, 2018).

Para Stewart (2010), dentre os vários atributos da embalagem, os que são relacionados com a identificação do produto talvez sejam os mais importantes: informar, descrever, comunicar, diferenciar, categorizar, promover e vender. Com o amadurecimento da indústria e dos consumidores e um mercado em constante mutação, os serviços e os parâmetros de regulamentação exigem diversas informações que devem ser configuradas nas embalagens de forma clara e legível. A embalagem não deve enganar ou induzir o consumidor com informações falsas ou apresentar artimanhas como as relações entre o seu tamanho e conteúdo.

Além de itens como validade, instruções de manuseio, valores nutricionais, contraindicações e identificação de fabricantes, a embalagem deve apresentar e qualificar o seu fabricante com o intuito de influenciar o cliente na sua decisão de compra.

A embalagem exemplifica bem a estreita relação entre Design Gráfico e Design de Produto, englobando e mesclando esses dois aspectos em três níveis de embalagem. Esses níveis, de acordo com Carvalho (2008) e Hellstrom e Olsson (2017), são: (1) primário, que está em contato direto com o produto; (2) secundário, que envolve a embalagem primária, podendo ser, por exemplo, uma caixa display para transporte e promoção; e (3) terciário, nível que contém o secundário e serve para proteger o produto durante o transporte e a armazenagem, além de ter uma configuração unificada para transporte em *pallets*, sendo, geralmente, caixas de papelão, conforme mostra a Figura 16.

Figura 16 - Níveis de embalagens



Fonte: elaborado pelo autor (2018).

De acordo com Pereira e Silva (2011), as funções da embalagem podem ser sintetizadas conforme a Figura 17. Elas podem obedecer a hierarquias diferentes, conforme a categoria do projeto e os objetivos a serem alcançados. Ainda que todas as funções devam ser equacionadas, com relação ao projeto gráfico, as funções de comunicação, a mercadológica, a cultural e a social assumem um papel de maior relevância.

Figura 17 - Síntese das funções da embalagem

| | | | | |
|---|--|---|----------------|---|
| 1 | Contenção, conservação e quantificação | <p>As funções da embalagem são divididas em duas categorias principais: básicas (representadas em tons de vermelho) e complementares (representadas em tons de verde). O diagrama centralizado mostra um círculo dividido por uma linha diagonal, com o texto 'Funções da embalagem' no centro.</p> | 5 | |
| 2 | Proteção e transporte | | Econômica | 6 |
| 3 | Comunicação | | Ecológica | 7 |
| 4 | Utilidade | | Sócio-cultural | 8 |

Fonte: Priscila Zavadil Pereira e Régio Pierre da Silva (2011).

Para Mestriner (2018), as inovações em embalagem podem surgir tanto do projeto estrutural quanto do gráfico e, a partir do que já existe, criar algo novo. Forma e cor são elementos que diferenciam e comunicam a embalagem. Conforme Negrão (2008), a estética deve ser utilizada em prol da estratégia mercadológica da empresa, mas nunca deve ser o parâmetro principal de projeto, corroborando os conceitos que definem um bom Design.

2.2.4 Design de Embalagens

O Design de Embalagens é uma das atribuições do Design, podendo ser desempenhada em todas as fases do desenvolvimento de um projeto de embalagens, e, segundo Bonsiepe (2015, p.161), “O design é o domínio no qual se estrutura a interação entre usuário e produto, para facilitar ações efetivas. Design industrial é essencialmente design de interfaces”.

Sastre (2017) afirma que a embalagem envolve simultaneamente o Design de Produto e o Design Gráfico, sendo um artefato que estabelece relações teórico-formais com o design. As funções da embalagem se inter-relacionam com os princípios do design por meio da forma função, cultura, sociedade e comunicação.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2016) define o termo Design de Embalagens como:

[...] área do design aplicada ao planejamento, projeto e desenvolvimento de embalagens e sistemas de embalagens, envolvendo requisitos estéticos formais, de funcionalidade, de tecnologia, de âmbito emocional, de uso, de processos e de produção, abrangendo aspectos estruturais, técnicos e de comunicação (ABNT, 2016, p.2).

Para Negrão (2008), o projeto de embalagem pode ser dividido em projeto gráfico, que abrange a forma, cor e texto; e projeto estrutural, que lida com dimensionamento e estruturas. Todos esses fenômenos devem ser tratados em termos da comunicação entre emissor e receptor, nas dimensões pragmáticas, sintáticas e semânticas.

Os elementos constituintes dessas dimensões formam os componentes que visam garantir as funções objetivas, estratégicas e simbólicas respectivamente, gerando, assim, as relações com um projeto em termos, por exemplo, da finalidade básica da embalagem, dos

seus diferenciais estruturais em relação à concorrência e de seus atributos intangíveis que se relacionam com o consumidor.

No âmbito do **Design gráfico da embalagem**, conforme (MESTRINER, 2002; NEGRÃO, 2008; CAMILO, 2017), os elementos principais são a forma e a cor, e os elementos complementares são tipografia, texturas, imagens, logotipos e símbolos.

A **forma**, quando se refere à embalagem primária, é resultado volumétrico do envase lacrado. A importância da forma não apenas está relacionada com o aspecto prático, como também abrange as características informacionais e subjetivas, como as qualidades percebidas espacialmente pelo consumidor. Para Negrão (2008), a forma é importante tanto para o produto se destacar no espaço físico de uma gôndola quanto para ser percebido pelo consumidor, sendo definida pelas dimensões qualitativas, que são percebidas pelos sentidos, e pelas quantitativas, que são mensuráveis metricamente.

Para Wong (2001), forma é tudo o que pode ser visto, que contenha formato positivo em relação a um fundo, podendo apresentar textura, cor e tamanho, ocupando espaço e sendo distinguível de um fundo, além de poder transmitir direção, mensagem ou significados. Esse conceito é muito semelhante ao que uma embalagem representa, sendo a forma, portanto, fundamental para a identificação do produto.

A **cor** em uma embalagem pode representar e promover sensações e pode ser suprimida para valorizar a própria cor do produto, além de contribuir para a identidade e estratégia mercadológica do mesmo (CAMILO, 2017). A cor, devido aos efeitos simbólicos e cenestésicos que exerce nos mais diversos ambientes culturais e mercadológicos, deve ser cuidadosamente aplicada no projeto de embalagem.

Para Mestriner (2002), a cor não é mais importante que a forma no sentido de diferenciador de um produto, porém, é o principal elemento de comunicação e de estímulo visual, e a sua definição, para um projeto de embalagens, provavelmente seja a decisão mais importante. Stewart (2010) afirma que as cores podem estabelecer associações culturais e de gênero, assim como serem ligadas a alimentos, seus sabores, tipos e outras qualidades, conseguindo, também, provocar respostas emocionais nos consumidores.

De acordo com Camilo (2011), a correta definição, especificação e controle das cores, além de ser fundamental para o projeto da embalagem, é muito importante para a racionalização do ciclo produtivo, pois as cargas de tinta indevidamente especificadas podem gerar desperdícios de insumos e custos, além de impactar o meio ambiente.

A **tipografia** tem uma importante função informacional na embalagem, participando da hierarquia da informação (diagramação e layout) e, conforme Mestriner (2002), conferindo personalidade e valor ao produto, contribuindo para a transmissão e percepção da mensagem e das informações complementares, além de ser fundamental para a exclusividade do logotipo da embalagem.

Stewart (2010), complementando a importância do tipo para a transmissão de informações, de maneira objetiva, apresenta os elementos que afetam a legibilidade: espaço entre as letras, espaço entre as linhas, tipos com serifa, peso e efeitos. O projeto de design deve levar em consideração a quantidade de informações, a própria estrutura física e os espaços disponíveis.

As texturas, as imagens e os *splashes* são exemplos de elementos visuais de apoio e, com o auxílio da tecnologia e da multimídia, deixaram de ser tarefas complexas em um projeto de embalagem (MESTRINER, 2002).

Em uma embalagem, vários símbolos podem ser inseridos, dependendo de diversos fatores, como o tipo de embalagem, o tipo de produto, além dos textos sobre aspectos legais e avisos (CASTRO, 2003).

Nas embalagens, uma simbologia utilizada com frequência é aquela referente à reciclagem (Figura 18), cuja aplicação indica o tipo de material e as formas de descarte, sendo empregada para orientar ações de coleta e de reciclagem. (ABRE, 2018).

Figura 18 - Símbolos informacionais de reciclagem em embalagens.



Fonte: Adaptado de ABRE (2018).

Quando envasada e distribuída, a embalagem torna-se um instrumento de consumo com grande capacidade comunicacional, apresentando um conjunto de informações (conforme exemplifica a Figura 19) para que seja identificada, escolhida e consumida.

Figura 19 - Elementos e formas de uma embalagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Conforme Castro (2003), mais de 70% das embalagens são impressas, sendo essa etapa a última antes da distribuição e do consumo. As mensagens apresentadas nas embalagens não servem apenas para informar os consumidores, mas também para serem identificadas e processadas pelas máquinas, como, por exemplo, os códigos de barras. Graças a isso é possível aperfeiçoar os processos de logística e fluxos de distribuição atuais.

De acordo com Castro (2003), o código de barras, mais especificamente o EAN, foi introduzido nos anos 1970 pelo sistema europeu de numeração de artigos.

No Brasil, o código EAN/UPC (Figura 20) foi desenvolvido especificamente para leitura no PDV (ponto de venda) devido à agilidade propiciada na captura da informação.

Figura 20 - Código de barras



Fonte: GS1 Brasil (2018).

Segundo Castro (2003), os símbolos, como o código de barras, são importantes para a identificação e controle dos produtos, ainda que sejam posicionados de forma discreta pelo projeto de Design.

2.2.5 Design estrutural de embalagens

O projeto estrutural de embalagem, de acordo com Negrão (2008), deve levar em consideração, além do Design, a matéria-prima empregada, o volume de produção, o orçamento, os prazos e as especificações técnicas. O Quadro 4 apresenta, de forma sintetizada, algumas relações entre materiais e processos de fabricação.

Quadro 4 - Processos mais aplicados em produção de embalagens

| | Conformação | Melhoria | Separação | União |
|------------------|--|--|--|--|
| Papel | Calandragem, Dobra e Compressão | Impressão, Plastificação, Gravação, Texturização, Impermeabilização e Invernização | Cortes (guilhotina ou facas especiais) | Colas e adesivos, Processos térmicos e União mecânica (grampo, rebite) |
| Metal | Fundição, Forjamento, Calandragem, Repuxo, Trefilação e Dobra | Pintura, Esmaltação, Polimento, Jateamento, Galvanização, Perfuração, Escovamento, Texturização e Gravação | Cortes, Furação, Usinagem química e Eletroerosão | Solda, Laminação, Colas e adesivos, União mecânica (parafuso, rebite, cavilha, pinos e estamparia) |
| Vidro | Fundição, Laminação, Repuxo, Estrusão, Prensagem, Sopros e Compressão | Vitrificação, Pintura, Polimento e Esmerilhamento | Cortes (diamante, chama), Rebarbamento e furação | Solda, Cola, União mecânica (parafusos e cavilhas) |
| Polímeros | Injeção, Rotomoldagem, Calandragem, Extrusão, Transferência, Pultrusão, Vacuumforming, Sopros, Estampagem e Compressão | Impressão, Pintura, Metalização a vácuo, Texturização e Gravação | Cortes (estamparia de corte, laser etc.) | Resistência elétrica, Solda, Ultra-som, Colas, Adesivos, União Mecânica (parafusos, rebites e pinos) |

Fonte: Negrão (2008).

Ter o conhecimento sobre os conceitos e características de cada material e compreender os processos de fabricação são importantes para um projeto eficiente de Design de Embalagens.

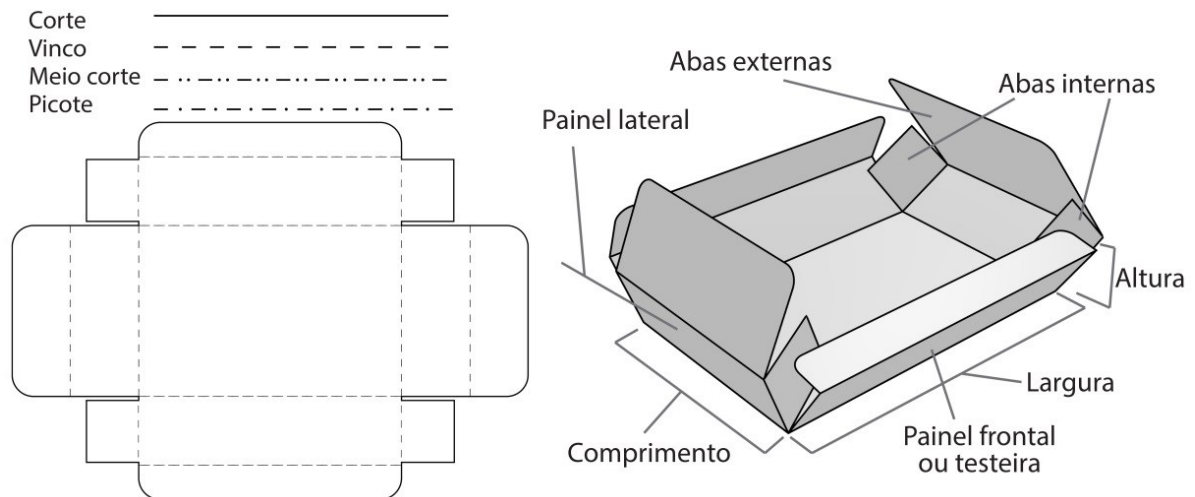
2.2.6 Design em embalagens de papel

O papel ainda é o maior insumo para as embalagens, em termos de produção física, representando 39% do total de embalagens de papel e cartão (ABRE, 2019) <https://www.abre.org.br/dados-do-setor/ano2019/>.

O processo de acabamento, posterior ao detalhamento técnico, envolve vários procedimentos industriais, como corte, picotagem, dobragem e colagem. A embalagem tridimensional de papel, de acordo com Negrão (2008), apresenta uma característica

importante, que é a sua planificação 2D inicial, para a posterior configuração 3D, gerando toda uma gama de convenções técnicas para o seu projeto, conforme ilustra a Figura 21.

Figura 21 - Convenções técnicas para uma embalagem de papel



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de Negrão (2008).

As qualidades do papel dependem de suas fibras e, basicamente, definem a sua resistência estrutural, maleabilidade e a qualidade de acabamento superficial. Esses fatores influenciarão na escolha do material do papel e no seu tipo tanto em termos estruturais quanto em gráficos. Fatores como a direção de fabricação e a orientação das fibras podem influenciar nas características de resistência mecânica e na construção pelos processos de impressão, corte, vinco e montagem. Outros fatores – como porosidade, teor de humidade e resistência física – devem ser considerados, dependendo do tipo de produto.

O papel é reciclado no fim de sua vida e a ampla maioria dos papéis tipo cartão contém fibras recuperadas (JORGE, 2013).

Na prática, saber o sentido das fibras e a aspereza do papel fornecem condições para um melhor projeto estrutural e de acabamento, como vincos e dobras, além do resultado gráfico.

Utilizando softwares de edição gráfica e CAD para manipulação das estruturas virtuais das embalagens, em conjunto com os objetos 3D adquiridos por fotogrametria, é possível, por exemplo, desenvolver análises estruturais e formais comparando-as, por meio de ferramentas de medição, com os resultados em meio físico.

2.2.7 Design em embalagens plásticas

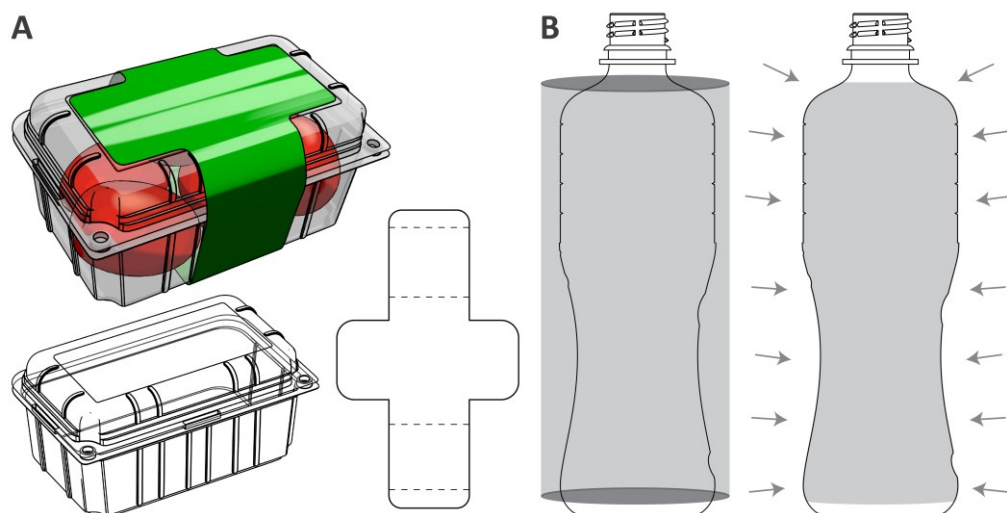
Materiais baseados em polímeros sintéticos ou naturais modificados são popularmente conhecidos como plásticos, sendo muito diversificados em suas estruturas químicas. As embalagens de plástico são cada vez mais utilizadas e vários exemplos de seu emprego na substituição de materiais tradicionais são encontrados no mercado. Ainda que isso possa ocasionar redução da proteção do produto, existe um balanceamento entre os fatores econômicos e redução no período de comercialização de itens em embalagens plásticas (JORGE, 2013).

O plástico, em termos de participação no mercado, ainda é o insumo de maior valor de produção e de emprego para as embalagens, representando mais de 41% e 53% respectivamente, além de ser o material mais importado com 53,4%. (ABRE, 2019).

As embalagens são produzidas pelos processos de extrusão, termoformagem, injeção e sopro. O plástico apresenta excelentes propriedades tecnológicas, sendo os termoplásticos os mais utilizados em embalagens de alimentos. Devido a sua difícil separação e quantidade, os plásticos são os que apresentam maior dificuldade na reutilização, segundo Castro (2003).

As embalagens de plástico podem assumir diversas configurações, dependendo da finalidade do projeto. Existem muitas variedades no mercado, além de poder interagir com outros materiais, como uma cinta de papel cartão, conforme exemplo da Figura 22-A e em filmes termoencolhíveis (Figura 22-B).

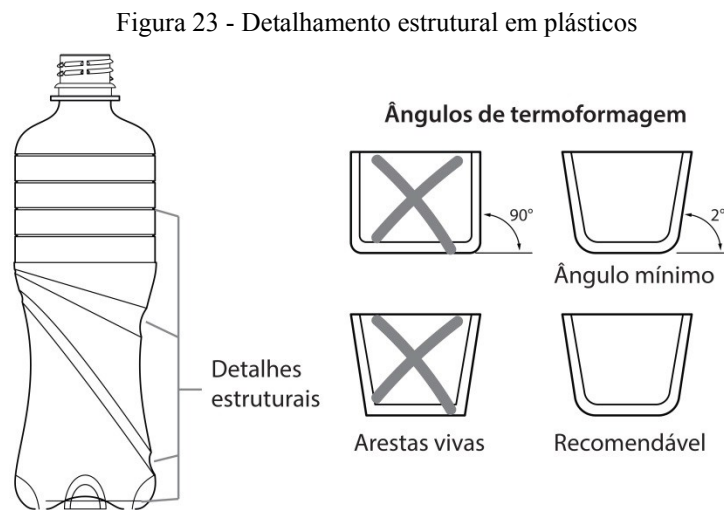
Figura 22 - Exemplo de configuração de uma embalagem de plástico



Fonte: Elaborado pelo autor, (2018).

As embalagens termoencolhíveis (*shrink sleeves*) podem ser utilizadas em frascos e jarros e podem ser estendidas para novas aplicações como comidas prontas e seu uso apresenta vantagens como fechamento de segurança e visibilidade para as marcas (ANYADIKE, 2010).

No Design de Embalagens plásticas, conforme Negrão (2008), é fundamental ter conhecimento dos processos de fabricação utilizados, das espessuras, capacidades volumétricas, deformações, pesos, ângulos, encaixes e complementos (roscas e tampas, por exemplo). A Figura 23 exemplifica algumas características de detalhamento e formatos em um projeto de embalagem plástica.



O projeto estrutural de embalagens de plástico pode se beneficiar do uso de objetos 3D, obtidos por fotogrametria, nos aspectos relacionados ao desenvolvimento estrutural, nas áreas críticas das superfícies e volumes que estão em contato com o modelo do alimento digitalizado.

2.2.8 Métodos de Design de Embalagens

O desenvolvimento do Design de Embalagens começa, geralmente, com um briefing, porém, pode-se dizer que o processo é sistemático e iterativo. Para Castro (2003), Design e projeto podem ser considerados sinônimos, sendo uma atividade desencadeada por uma necessidade da sociedade ou uma identificação de oportunidade de mercado.

O Design de Embalagens deve seguir a mesma metodologia que serve para qualquer outro produto industrial, composta por um conjunto de passos sistemáticos, planejados e avaliados, buscando viabilidade, competitividade e eficiência para entregar um produto.

O processo de Design de Embalagens, depois da aprovação do briefing, consiste, geralmente, de várias fases, que podem partir de uma pesquisa até o acompanhamento da produção e descarte final.

Pereira e Silva (2011) afirmam que existem vários autores com métodos para o design de embalagem:

Com relação a métodos particulares de Design de embalagem, é possível encontrar diversos autores que tratam do assunto e propõem estruturas metodológicas baseadas em pesquisa científica ou empírica, desde Bergmiller et al. (1976), passando por Seragini (1978), Giovannetti (1995), até Mestriner (2001), dentre outros. Esses métodos são constituídos de fases e realimentação, sendo que grande parte de suas macroestruturas podem ser úteis tanto no desenvolvimento do projeto formal-estrutural, quanto do projeto gráfico-visual (PEREIRA; SILVA, p.48).

Com base em vários autores, Pereira e Silva (2011) propõem uma estrutura metodológica para aplicação no ensino projetual de embalagens, composta por dez fases agrupadas em três etapas, que podem ser adaptadas conforme a Figura 24.

Figura 24 - Fluxo sistematizado de Design de Embalagens



Fonte: Pereira e Silva (2011).

Descreve-se, sucintamente, essas fases: na primeira delas, denominada necessidade, desenvolve-se o *Briefing*, que corresponde ao contato inicial da equipe de design com o responsável pela demanda, e o recebimento das informações para o início do projeto.

A segunda fase é correspondente à coleta de dados por parte do designer e da equipe de projeto. Durante a terceira fase do método, realizam-se análises, interpretações e síntese dos dados coletados anteriormente. É na quarta fase que se devem formular a estratégia e a conceituação para o desenvolvimento do projeto, antecedendo a geração de alternativas. A quinta fase corresponde à geração de alternativas, buscando tanto soluções estruturais e funcionais – como formatos, tipos de abertura e fechamento, materiais, etc. – quanto gráficas e informacionais para a embalagem. Nela, geralmente são apresentados croquis, esboços e outras representações gráficas que atendam às estratégias de conceito do design.

O desenvolvimento é a fase de análise estrutural e gráfica da solução selecionada, compreendendo vários passos como a definição de partes, de componentes, a modelagem virtual da embalagem, a execução de modelos físicos de teste, os elementos informacionais, como cores, diagramação, tipografia e símbolos.

A última fase da etapa projetual corresponde ao detalhamento e à finalização do projeto e consiste na finalização e no fechamento dos arquivos para produção e as especificações técnicas para os processos e materiais finais – planos, vistas perspectivas, plantas, cores, desenhos técnicos e simulações virtuais para PDV.

Na terceira etapa, o objetivo é o acompanhamento e verificação, que são fases de interferência indireta do designer, baseadas no ciclo de vida do produto e na avaliação dos resultados do projeto. Durante a fase de produção, acompanha-se a fabricação do primeiro lote da embalagem e a determinação dos padrões de tolerâncias máxima e mínima para os próximos lotes.

A equipe de design deverá avaliar a adequação dos padrões estabelecidos após a implementação da embalagem e sua colocação no mercado, devendo realizar uma avaliação da eficácia da solução desenvolvida quanto ao alcance dos objetivos estabelecidos, para eventuais correções a serem incorporadas no projeto. É importante a realização da verificação ao atendimento dos requisitos estabelecidos antes da produção do lote piloto e, novamente, após a colocação da embalagem no mercado, já em uso pelos consumidores.

Os experimentos de design para este trabalho foram estruturados conforme os métodos de Mestriner (2002), Baxter (2015) e Negrão (2008).

2.2.9 Design de Embalagens e novas tecnologias

Atualmente, com a crescente popularização de tecnologias, antes destinadas e monopolizadas por grandes empresas e instituições, como, por exemplo, a impressão 3D e a digitalização 3D, é possível planejar e executar processos anteriormente confinados e dominados somente por grandes empresas. Surgem, nesse novo contexto, termos que tentam fazer referência a esses novos paradigmas.

O movimento *Maker* engloba, dentre outros fenômenos, a utilização de equipamentos e soluções de baixo custo, além de uma atitude que visa a auto realização de métodos e produtos antes confinados a oficinas e fábricas. Para Alencastro (2018):

Os *makers* trazem consigo a perspectiva advinda do faça-você-mesmo baseada na autossuficiência do fazer agregando o interesse em aprender, ensinar e compartilhar o conhecimento. Ajudam a aproximar das pessoas as ferramentas tecnológicas de fabricação digital, engenharia reversa e processos de inovação. [...] A digitalização tridimensional está em constante desenvolvimento apresentando versões de custo baixo e de menor complexidade. É de uso nas atividades do movimento *maker* e conta com tutoriais de fácil acesso online para auxílio à aprendizagem que são desenvolvidos e compartilhados pelos *makers* (ALENCASTRO, 2018, p.19, grifos do autor).

Estamos vivendo uma nova revolução industrial, conhecida como indústria 4.0, que tem como fatores importantes a digitalização, a simulação e a interatividade.

Conforme Camilo (2017), a mudança relacionada à internet das coisas (IOT) apresenta a interconectividade aliada à simulação, virtualização e acesso remoto. Os projetos poderão ser otimizados por meio de simulação de suas cópias digitais em 3D.

De acordo com Brettel et al. (2014), a manufatura rápida, a digitalização, a simulação de produtos e de processos e a individualização da produção são alguns dos aspectos da indústria 4.0 que podem potencializar as opções de Design. Através de sistemas com sensores e interfaces, os seres humanos e as máquinas podem, em sistemas inteligentes de manufatura físicos e cibernéticos, interagir.

O Digital *Twin* (gêmeo digital) incorpora um processo que visa replicar objetos e fenômenos da realidade em meios digitais, conforme Schroeder (2018):

O digital *twin* permite a coleta de dados durante todo o ciclo de vida e informações podem ser inferidas a partir destes dados com o uso de sistemas industriais inteligentes. Por exemplo, o digital *twin* pode melhorar a

produtividade da indústria e a qualidade dos produtos, através de prognósticos e diagnósticos inteligentes utilizando conhecimento adquirido por dados de sensores, máquinas e sistemas. O *digital twin* pode fornecer informações aos usuários e a outros *digital twins* em qualquer momento e em qualquer lugar. Além disso, o *digital twin* pode ser usado para realizar simulações obtendo-se melhorias no funcionamento da sua contraparte física (SCHROEDER, 2018, p.16, grifos ao autor).

O Design de Embalagens se beneficia desse cenário, podendo incorporar toda uma gama de ferramentas que emerge dessa conjectura. Conforme Coelho (2011), embalagem é interface e interface é modelo, *mock-up* virtual, tridimensionalidade e visão espacial.

Mestriner (2002) propõe estudos de campo para projetos de embalagem. Dentre eles estão o estudo de gôndola, que podem ser complementados por estudos de gôndola *in house*, ou seja, caso um estúdio possua uma prateleira de supermercado, vários estudos com os *mockups* poderiam ser realizados, como a análise do posicionamento da embalagem, semelhanças entre categorias, comparativos com concorrentes de gôndola. O emprego de simulação virtual (Figura 25) poderia fazer parte deste processo, complementando os outros estudos e aproveitando a interatividade na apresentação de projetos virtuais.

Figura 25 - Representação em ambientes virtuais



Fonte: ESKO (2018).

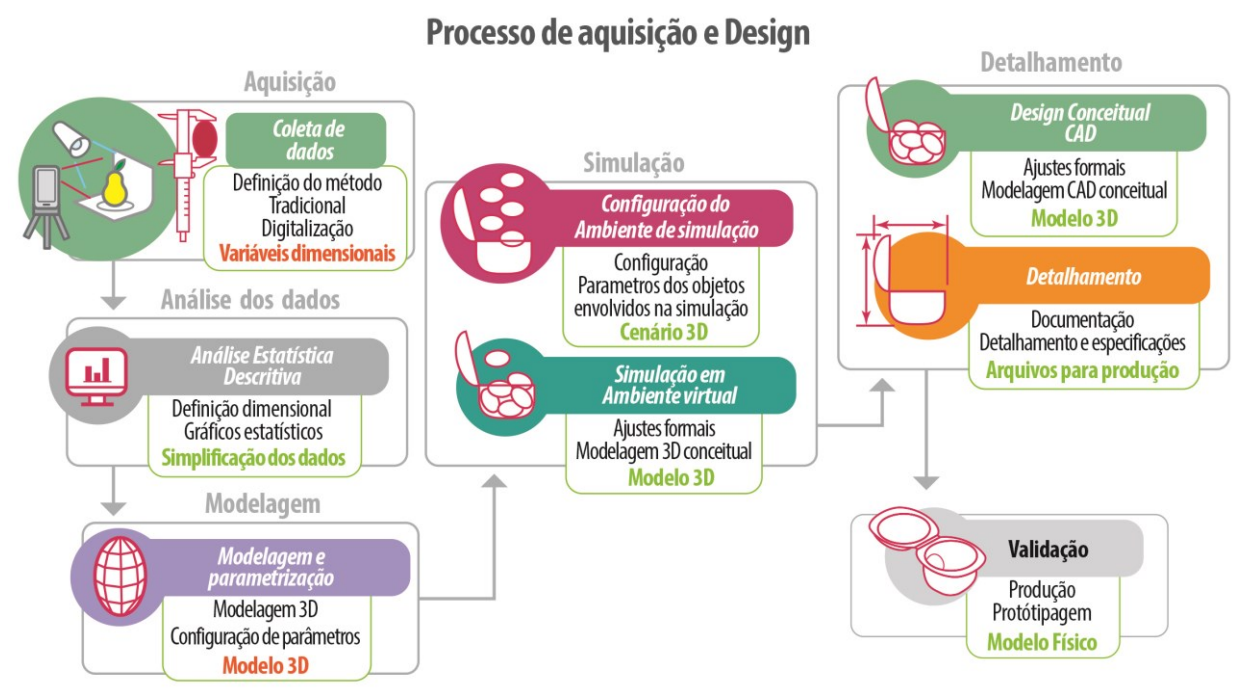
Esses conceitos são bem representados quando se utiliza uma visualização tridimensional interativa, que pode, dentre outras finalidades, apresentar elementos importantes para a retórica visual do projeto que envolve a superfície e a espacialidade com a possibilidade de antever características só possíveis após a materialização do modelo.

Em um projeto de embalagens, as dimensões envolvidas incluem interfaces gráficas e interfaces estruturais, cabendo ao Designer encontrar soluções para os problemas comunicacionais, informacionais e formais, atuando tanto nas superfícies quanto nas estruturas. Conforme Bonsiepe (2015, p.161), “O design é o domínio no qual se estrutura a interação entre usuário e produto, para facilitar ações efetivas. Design industrial é essencialmente design de interfaces”.

O Design estrutural em ambiente virtual não é algo recente, e vem sendo utilizado por meio de desenho assistido por computador ou *CAD (Computer Aided Design)*, desde sua consolidação, a partir dos anos 2000, com a plataforma *PC (AZEVEDO, 2003)*.

De acordo com Braviano e Cordeiro (2019), as novas oportunidades surgem com a utilização de softwares *open source*, que apresentam adequações e precisão no sentido de auxiliar o projeto de Design conceitual e estrutural. A possibilidade de inserção de objetos tridimensionais em ambientes virtuais dinâmicos, no fluxo de um projeto de Design estrutural de embalagem (Figura 26), para serem analisados em tempo real, abre novas possibilidades para a inovação e pesquisa em Design, além de ampliar as possibilidades de resolução de problemas em determinadas fases de um projeto de Embalagem.

Figura 26 - Fluxo sistematizado de Design estrutural de embalagens



Fonte: Braviano e Cordeiro (2019).

Os objetos 3D obtidos por fotogrametria poderiam contribuir em alguns procedimentos de um projeto de embalagem, como na geração de alternativas, agindo como um elemento no processo de visualização e representação; na fase de desenvolvimento, poderia apoiar as análises estruturais, dimensionais e de componentes do sistema; e no detalhamento e finalização, como modelo para especificações técnicas.

Na fase de geração de alternativas, é possível usar os objetos digitalizados para uma prévia da textura, do volume e da forma, colaborando com os processos iniciais para obtenção de estimativas de preços, além de auxiliar nos estudos da fase de criação e definição de alternativas em ambiente virtual.

Nas fases onde existe apresentação dos conceitos, o objeto pode participar como complemento para a visualização e comunicação da ideia, antes do processo de materialização.

Durante o desenvolvimento o objeto 3D pode participar de simulações em conjunto com a modelagem virtual dos elementos estruturais, definindo os espaços e estruturas físicas e dinâmicas, além de contribuir na simulação de efeitos como transparência, cores e texturas.

O objeto também pode ser detalhado como elemento extra de comunicação e documentação, servindo como referência para especificação visual e formal quanto ao tipo de produto.

No detalhamento técnico, os objetos virtuais podem servir de base para estudos virtuais de PDV (ponto de venda) e para que o marketing possa utilizar na divulgação dos produtos em outras mídias, como animações e imagens promocionais.

De maneira resumida, os objetos 3D gerados por fotogrametria, poderiam contribuir para visualizar, comunicar, documentar e promover.

2.3 SÍNTESE DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica realizada através da revisão bibliográfica trouxe subsídios para a compreensão acerca dos objetos de estudo e suas problemáticas. A ordem dos conceitos apresentados visou desenvolver uma estrutura que possibilitasse um fluxo crescente de conhecimentos, relacionando o Design de Embalagens com os processos tecnológicos para obtenção de artefatos digitais 3D, optando por processos de baixo custo e, conseqüentemente, escolhendo a fotogrametria digital por software *open source*.

Pôde-se perceber que a bibliografia referente aos processos de digitalização de baixo custo para projeto de design estrutural de embalagens de alimentos frescos ainda é escassa. Assim, a presente dissertação, com foco em Design de Embalagens para alimentos, com o apoio das teorias e das mídias e das metodologias de projeto do Design, pode contribuir para a resolução de problemas de cunho tecnológico ao minimizar os impactos econômicos nos projetos e permitir que microempresas tenham acesso a tecnologias de digitalização 3D graças ao baixo custo.

Os dispositivos móveis que integrarão a presente pesquisa – *smartphones* – apresentam-se como uma plataforma tecnológica com potencial para a pesquisa e a inovação, que, ao longo dos últimos anos, vem conquistando um espaço cada vez maior no campo das imagens e desempenhando de forma eficiente sua função como ferramenta. Dessa forma, torna-se importante compreender como os processos de fotogrametria aliados às qualidades de imagem dos smartphones podem contribuir, com efetividade, para as fases de um projeto de design estrutural de embalagem.

No próximo capítulo, serão apresentados os elementos que constituem a proposta da dissertação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos relativos ao desenvolvimento dos experimentos, assim como os instrumentos de coleta e de análise de dados utilizados para o cumprimento dos objetivos da pesquisa.

O presente estudo teve o seu delineamento dividido em três fases distintas, conforme Figura 27.

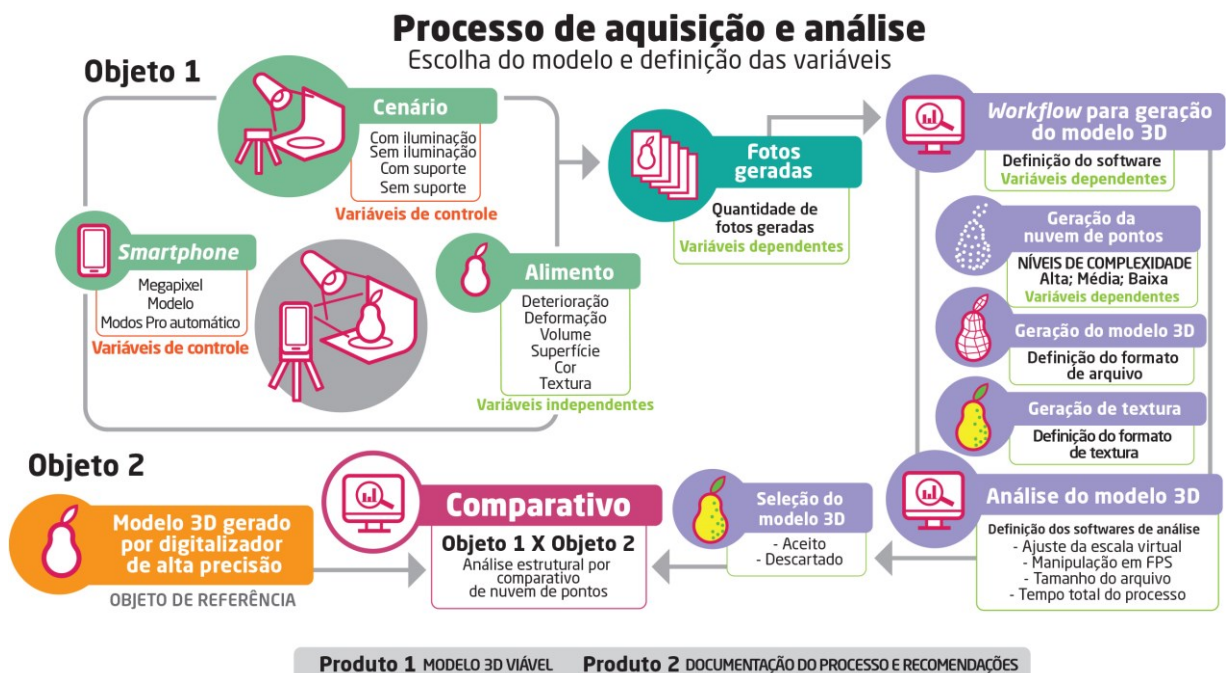


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Fase 1 é destinada à coleta e análise de dados preliminares, sustentada pela revisão bibliográfica teórica e pela complementar, que visa a elucidação e o domínio da técnica para efetuar as testagens. O produto dessa fase é a definição das principais variáveis de estudo e consequente elaboração de diretrizes para efetuar a digitalização 3D de baixo custo. Esses resultados iniciais objetivam auxiliar na identificação de softwares *open source*, para processamento de nuvem de pontos, bem como na geração das malhas tridimensionais, na definição dos cenários e de outros elementos que são o suporte ao experimento principal da pesquisa.

A Fase 2, sintetizada na Figura 28, trata da avaliação dos processos de fotogrametria escolhidos e da qualidade dos dados geométricos obtidos por meio de smartphones, utilizando, para isso, uma análise comparativa entre as amostras obtidas em sistemas de escaneamento 3D de alta definição e a amostra gerada pelo sistema de baixo custo. A comparação dos dados se dá por meio de software de inspeção virtual.

Figura 28 - Processo de aquisição e análise comparativa



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

A Fase 3 complementa a Fase 2 para que se atinjam os objetivos da pesquisa, e se dá a partir da aplicação de alguns dos modelos, obtidos pela digitalização de baixo custo, em estudos de Design de Embalagens. Assim, podem ser avaliadas as potenciais contribuições da

presente pesquisa, específicas para a realização dessa tarefa com alimentos frescos e de formatos moderadamente complexos.

3.1 FASE 1: DEFINIÇÃO DE METODOLOGIA E RESULTADOS PRELIMINARES

A primeira Fase deste estudo consistiu em compreender, avaliar e dominar as ferramentas e técnicas a serem utilizadas nos testes, o que se realiza a partir de experimentos preliminares. Os resultados dessa etapa irão balizar os experimentos da Fase 2, realizados com frutos.

Com a utilização, em objetos de geometria simples, de ferramentas tradicionais de medição, os experimentos preliminares auxiliaram a investigar e a definir três métodos de captura de imagens para fotogrametria, além de isolar e testar variáveis que influenciam na precisão e na complexidade dos modelos 3D gerados.

Foram testados computadores, cenários, objetos de geometria e textura variadas, softwares *open source* para fotogrametria, sempre visando à simplicidade e eficiência dos métodos. Como resultado, obteve-se um quadro com diretrizes que auxiliaram na definição dos cenários, ferramentas e parâmetros para a aplicação do experimento da Fase 2.

3.1.1 Ensaio e resultados preliminares para definição de ferramentas e parâmetros para aplicação do experimento na Fase 2

Para o desenvolvimento dos experimentos de fotogrametria da Fase 1, foram adaptados os trabalhos desenvolvidos por Alencastro (2018) e Moraes (2017), que privilegiam a utilização de instrumentos de baixo custo, porém, considerando a introdução de smartphones no lugar de câmeras convencionais. Além disso, foram priorizados *softwares* livres, *open source* ou de baixo custo como requisitos para atender aos objetivos da pesquisa. Para que isso fosse possível, todos os dados foram processados, primeiramente, nas configurações automáticas de captura e processamento de dados.

Os experimentos preliminares, cujos detalhes podem ser conferidos no APÊNDICE B, adotaram um caráter exploratório, com o intuito de fornecer dados para a montagem do experimento da Fase 2, no sentido de possibilitarem a determinação da técnica de captura e dos softwares de processamento, tendo, ainda, gerado elementos associados aos custos, à precisão, ao detalhamento e à facilidade de aplicação.

Para que fosse possível um controle inicial sobre a escala e dimensões dos objetos em ambiente virtual, utilizaram-se, como objetos de estudo, peças geométricas com marcações e, em seguida, amostras de alimentos frescos. Também foram testadas peças LEGO[®], de fácil aquisição e relativa precisão na fabricação.

Os objetos 3D obtidos tiveram suas dimensões ajustadas nos softwares *open source* Blender[®] 3D e Cloud Compare[®] e puderam ser inspecionados visualmente com o auxílio dos objetos digitalizados por scanner 3D.

Os experimentos preliminares permitiram identificar e avaliar algumas variáveis para a aquisição de fotografias. Dentre as mais significativas, estão os modos de disparo presentes nos smartphones, a iluminação do objeto, a configuração do ambiente e os ângulos de tomadas das fotos.

As imperfeições das superfícies e os padrões de textura presentes nas amostras foram os atributos mais significativos que impactaram na qualidade da malha 3D gerada. Objetos muito lisos e espelhados, com superfícies sem texturas não apresentaram bons resultados na construção dos modelos 3D, também aumentando o tempo de processamento das fotos.

Além das características superficiais dos objetos, outros fatores que influenciaram no processamento de imagens foram o foco e enquadramento das imagens. Fotos desfocadas ou desalinhadas não foram reconhecidas e processadas pelo software.

Nesta etapa também se comparou os tempos de processamento entre dois computadores de diferentes valores e configurações e observou-se que os ciclos computacionais foram bem diferentes, devido à quantidade de imagens e as configurações de hardware e optou-se pela utilização do hardware mais atual.

Para este estudo, o software Meshroom[®] de AliceVision (2020), demonstrou ser a melhor opção *open source* devido à facilidade de utilização e gerenciamento, atendendo aos objetivos da pesquisa.

Constatou-se que a tomada de fotos por base giratória e marcações de ângulos foi rápida para a aquisição das imagens, mesmo este procedimento não sendo recomendado para iniciantes ou para quem não dispõe de tempo, pois exige a criação de máscaras que visam eliminar os objetos de interesse do fundo da fotografia, fato constatado na documentação de utilização do software Meshroom[®], que recomenda obter as imagens girando ao redor dos objetos.

A proposta de utilização de três diferentes cenários de captura dos objetos não apresentou significativas diferenças de resultados na qualidade dos modelos. Assim, não foi possível indicar algum cenário que seria mais adequado.

O controle absoluto da luz do ambiente, para o modo indicado pela documentação do software Meshroom[®], é impraticável para o cotidiano, então nossa recomendação é que a iluminação seja difusa e clara. Além da iluminação, a quantidade de fotos influencia na coleta de dados e quanto mais fotos de ângulos variados obtivermos, melhores deverão ser os resultados, porém o tempo de processamento aumenta drasticamente.

A quantidade de fotos geradas ficou entre 70 e 80 imagens, para o modo sem base giratória, em duas voltas de 35 a 40 imagens para cada passada e em dois ângulos de altura diferentes, definidos visualmente.

O Quadro 5 apresenta uma síntese com os principais levantamentos e resultados sobre as características avaliadas nos experimentos preliminares e que auxiliaram nas definições de ferramentas e parâmetros que serão utilizados para o experimento da Fase 2.

Quadro 5 - Síntese dos resultados e levantamentos de ferramentas e parâmetros para o comparativo da Fase 2

| Variáveis | Características | Diretrizes do experimento |
|---|--|--|
| Computador para processamento de imagens | Testaram-se dois sistemas de potência e datas de fabricação diferentes. O computador mais atual e potente foi capaz de realizar todas as tarefas. | Será utilizado o computador mais potente. Os tempos serão computados em minutos. |
| Softwares <i>open source</i> para fotogrametria | Foram testados dois softwares e o escolhido foi o Meshroom [®] , pela facilidade de uso e melhor gestão dos arquivos de entrada e saída, além de extensa documentação e comunidade de usuários. | Será utilizado o Meshroom [®] para geração dos modelos. Para ajustes e preparação das malhas 3d serão utilizados o Blender 3d [®] , priorizando o uso de softwares <i>open source</i> . |
| Cenários | Três configurações de cenários para tomada de fotos foram testadas. Os testes iniciais revelaram pouco sobre as posições e iluminação. | As três configurações serão repetidas com o intuito de obter mais informações sobre tempo, iluminação, posicionamento, oclusão das amostras e a facilidade de operação dos diferentes modos. |
| Amostras | As amostras inicialmente testadas serviram para as investigações sobre as estruturas dos objetos, superfícies, cores, texturas, calibração e precisão dos procedimentos. | As amostras serão 7 alimentos frescos representadas por frutas com variações de tipo, cor, textura, complexidade de superfície e tamanho. |
| Marcações de referência | Foi necessário inserir pontos de referência por meio de marcadores na superfície dos objetos para coleta de medidas, dimensionamento e posicionamento em ambiente virtual. | Os marcadores serão mantidos para o experimento e espera-se um total de 84 modelos 3D que darão um panorama sobre a relação entre a quantidade de amostras digitalizadas e o tempo dispendido no processo. |

| | | |
|-----------------------|--|---|
| Quantidade de imagens | Foram testados ângulos de 10 e vinte graus ao redor dos objetos com um mínimo de 72 imagens e de 40 imagens em duas passadas em ângulos diferentes. | O procedimento de captura será em ângulo de 10 graus, sucessivamente, em duas passadas, com um mínimo de 72 imagens e algumas imagens extras na transição entre as passadas. |
| Smartphones | Os testes iniciais utilizaram a câmera de um smartphone topo de linha. Não foram testadas outras opções de modelos de celulares. | Serão utilizados 3 smartphones com resolução mínima de 12 megapixels. Um modelo topo de linha de 2015; Um modelo intermediário de 2019; Um modelo intermediário de 2015. |
| Modo de disparo | O modo automático foi o modo testado. Os resultados apontaram a facilidade de utilização no uso deste modo deve ser levado em consideração. | Será mantido o modo automático. O modo pro será testado quando houver esta opção, para a investigação de possíveis impactos nos resultados. |
| Tempo | O tempo foi registrado para decisão sobre procedimentos, como a escolha do computador para processamento além se considerar a característica de perecibilidade dos alimentos e o cronograma. | Serão aferidos os tempos de tomada de fotos nos diferentes cenários. Utilizou-se os resultados dos tempos de processamentos para estimar a quantidade de amostras e sequências para os próximos experimentos. |
| Custos | Visando à redução de custos e facilidade de implementação nenhum material utilizado nos cenários foi comprado e sim adaptado e manufaturado. | Serão utilizados materiais e equipamento disponíveis. As frutas serão compradas. Os valores dos itens serão listados. |

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Os resultados preliminares gerados na Fase 1 com o auxílio da pesquisa bibliográfica, e dos ensaios contribuíram para o desenvolvimento e organização do experimento da próxima Fase. Considerando o contexto de utilização dos métodos de digitalização de baixo custo na fase de captura de dados volumétricos de frutas frescas para o Design de Embalagens, foram definidos ferramentas, protocolos e parâmetros de avaliação, apresentados nas próximas seções.

3.1.2 Configuração do Experimento da Fase 2

O experimento da Fase 2 contou com três grupos de elementos que forneceram as variáveis de análise.

O primeiro grupo que visa avaliar qual o melhor cenário é constituído dos seguintes elementos:

- Bancada de trabalho;
- Iluminação (natural, artificial e mini estúdio);
- Plataforma com marcações de ângulos (graus de rotação);
- Base giratória;
- Apoio para minimização da oclusão do objeto;

- Tripé (smartphone fixo com Graus de inclinação).

No segundo grupo, o elemento é o smartphone e a finalidade é avaliar se o uso de diferentes modelos afeta a qualidade final dos objetos 3D gerados e cujas variáveis foram as seguintes:

- Modo de disparo, automático e pro;
- Resolução mínima da câmera em 12 Megapixels;
- Modelo do dispositivo.

O terceiro grupo trata dos alimentos a serem digitalizados e tem por objetivo avaliar se é possível a digitalização de qualidade para tipos diferentes de frutas. Foram selecionadas sete amostras de frutas frescas, com texturas, cores e variação de complexidade estrutural.

Além dos elementos cujas variáveis foram estudadas, os outros instrumentos que contribuíram para o desenvolvimento do experimento foram: o scanner Artec; a plataforma PC; o paquímetro; os softwares de fotogrametria e de análise 3D.

3.1.3 Seleção dos Smartphones para a fotogrametria dos alimentos

A escolha dos smartphones, utilizados para o experimento, levou em consideração sua disponibilidade e custo, tendo sido definida a resolução mínima das câmeras em 12 megapixels.

Os smartphones utilizados e que estavam disponíveis no momento da coleta das imagens foram modelos da Samsung® cujo volume de vendas em 2016 representava 46,7% dos dispositivos vendidos no Brasil, em comparação com os modelos da segunda colocada, a Motorola® 12,9% e, também, da Apple® com 3,8% (LU, 2017).

A fabricante Samsung® começou a lançar modelos de smartphones, com câmeras na resolução definida para o experimento (12 megapixels), a partir de 2013 e a Apple®, em 2015 com o Iphone® modelo 6s, também passou a fornecer dispositivos com resolução de 12 megapixels.

No momento da realização dos experimentos não foi possível obter um modelo de Iphone® que satisfizesse os requisitos da pesquisa sendo que esse fato não inviabilizou os comparativos. Foram definidos, para o experimento, três modelos de smartphone, com características distintas relacionadas às funções, qualidade e resolução de imagens, bem como a possibilidade de utilização do modo automático e do modo Pro (quando houvesse essa opção).

Atributos como ISO, compactação de arquivo, tamanho máximo da imagem, foco e tempo de exposição foram ajustados quando foi usado o modo Pro. Outro fator de controle foi o modo de disparo, que pode estar acessível, conforme o modelo do celular e permite o controle remoto, tanto por voz quanto por fio, contribuindo para minimizar movimentos indesejados da câmera.

O Galaxy Note 5, o Galaxy J5 Duos e o Galaxy A30s, da fabricante Samsung®, com sistema Android (Figura 29).

Figura 29 - Modelos de smartphones



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Lançada pela primeira vez em 2011, a série Galaxy N incorporava um sensor de 8 megapixels, evoluindo em suas configurações ao longo dos anos e em 2013 apresentou o modelo Note 3 com uma câmera de 13 megapixel. O modelo mais recente, durante a pesquisa é o Note 20 ultra com câmera de resolução 12000 x 9000 pixels (108 megapixels).

A série de modelos intermediários Galaxy J iniciou em 2013 já com uma câmera de 13 megapixels tendo sido lançados diversos modelos e atualmente seus modelos não se encontram mais em produção.

O Galaxy A, da série Alpha, teve o seu primeiro modelo lançado em 2014 incorporando uma câmera de 12 megapixels e mais recentemente, o modelo A32 que foi lançado em 2021, apresenta uma câmera de 64 megapixels (BLASTERTECHNOLOGY, 2020).

As características principais e modos de operação dos smartphones para o experimento estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Modelos de smartphones

| Modelo | Ano | Preço no lançamento | Modo | Resolução | ISO | Exposição | Abertura |
|----------------|------|---------------------|------|--------------|-----------|-----------|----------|
| Galaxy J5 Duos | 2015 | R\$ 1200,00 | Auto | 13 megapixel | Auto | 1/20 | F 1.9 |
| Galaxy A30s | 2019 | R\$ 1600,00 | Auto | 25 megapixel | Auto | 1/60 | F 1.7 |
| Galaxy Note 5 | 2015 | R\$ 3.799,00 | Auto | 12 megapixel | Auto | 1/30 | F 1.9 |
| Galaxy Note 5 | 2015 | R\$ 3.799,00 | Pro | 16 megapixel | 200 - 400 | 1/60 | F 1.9 |

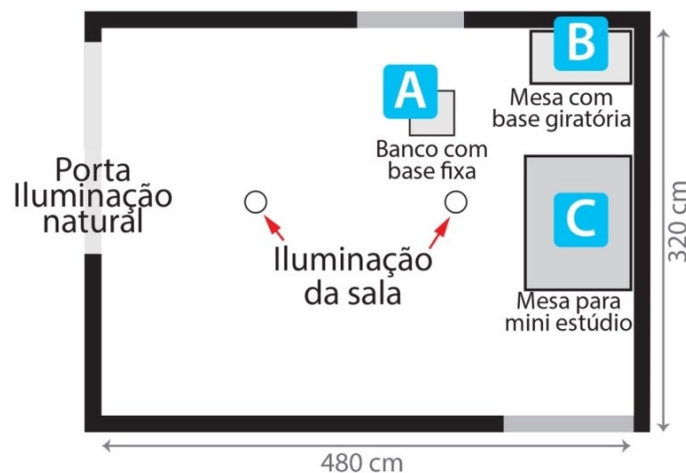
Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Para transferência das imagens utilizou-se um cabo USB conectado ao computador que faria o processamento das imagens.

3.1.4 Definição do Ambiente

O ambiente envolveu o local para a montagem dos três tipos de cenários e execução do experimento, seguindo os requisitos do projeto, que visa a utilização de infraestrutura simples, a facilidade de configuração e a aplicação das três técnicas de captura de imagens para a fotogrametria de baixo custo. A figura 30 mostra uma vista esquemática com local de posicionamento do cenário de base fixa (Figura 30-A), base giratória (Figura 30-B) e mini estúdio (Figura 30-C).

Figura 30 - Vista esquemática do local de coleta



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

O local para montagem dos cenários experimentais, relacionado à obtenção de dados por fotogrametria de baixo custo simulou um ambiente que caracterizou o perfil de um escritório, que visasse à simulação de uma situação real encontrada em um espaço de trabalho, com acesso às formas de iluminação artificial e natural possuindo espaço adequado e uma mesa ou bancada para posicionamento dos instrumentos para coleta de dados em três diferentes cenários que foram organizados e dimensionados seguindo as sugestões e orientações para postos de trabalho nas configurações sentado (Figura 31-A e B) e em pé (Figura 31-C), de uso ocasional (IIDA, 2001).

Figura 31 - Vista esquemática das dimensões dos cenários de coleta



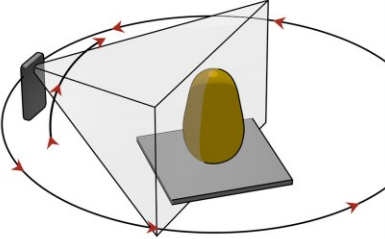
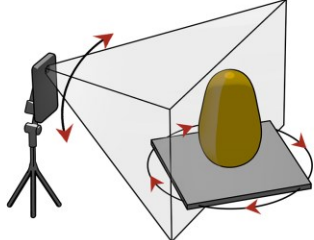
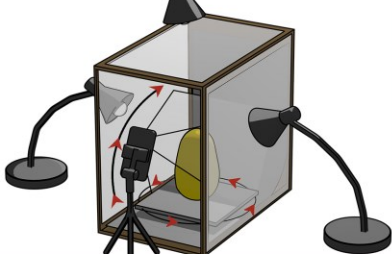
Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Foram utilizadas as estruturas do laboratório de modelos do CEART (Centro de Artes) da UDESC (Universidade do Estado de Santa Catarina) e a sala de uma residência, com ampla iluminação natural e artificial.

3.1.5 Definição dos cenários para captura das fotografias

Para a definição dos cenários utilizou-se as considerações da pesquisa bibliográfica e que foram testadas nos experimentos preliminares estabelecendo-se três cenários de baixo custo e fácil implementação, conforme sintetizados no quadro 6.

Quadro 6 - Representação esquemática dos cenários para capturas de imagens

| Cenário | Características | Figura |
|----------------|---|---|
| Base Fixa | <p>Sistema mais simples com uma folha impressa com marcações dos ângulos para os passos de captura das imagens e colada em placa de MDF.</p> <p>Podem receber um tripé para elevação da amostra.</p> <p>Usuário se desloca ao redor da amostra</p> |  |
| Base Giratória | <p>Sistema intermediário com uma folha impressa com marcações dos ângulos para os passos de captura das imagens e colada em placa de MDF.</p> <p>Apoiada em plataforma giratória.</p> <p>Podem receber um tripé para elevação da amostra.</p> <p>Usuário permanece no mesmo local movimentando a plataforma giratória. Tripé para smartphone.</p> |  |
| Mini Estúdio | <p>Sistema avançado com uma folha impressa com marcações dos ângulos para os passos de captura das imagens e colada em placa de MDF.</p> <p>Inserida em um mini estúdio de baixo custo.</p> <p>Podem receber um tripé para elevação da amostra.</p> <p>Usuário permanece no mesmo local movimentando a plataforma giratória. Tripé para smartphone.</p> |  |

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Os cenários propostos consideram a existência de dois fatores que podem interferir na qualidade do objeto gerado por fotogrametria.

O primeiro deles diz respeito à iluminação do ambiente e, para o experimento, adotou-se duas abordagens que consistiam em aproveitar a luz artificial do próprio local do experimento com o auxílio de luz natural oriunda das janelas, e a outra abordagem seria a montagem de um estúdio de baixo custo, utilizando materiais acessíveis (ALENCASTRO, 2018).

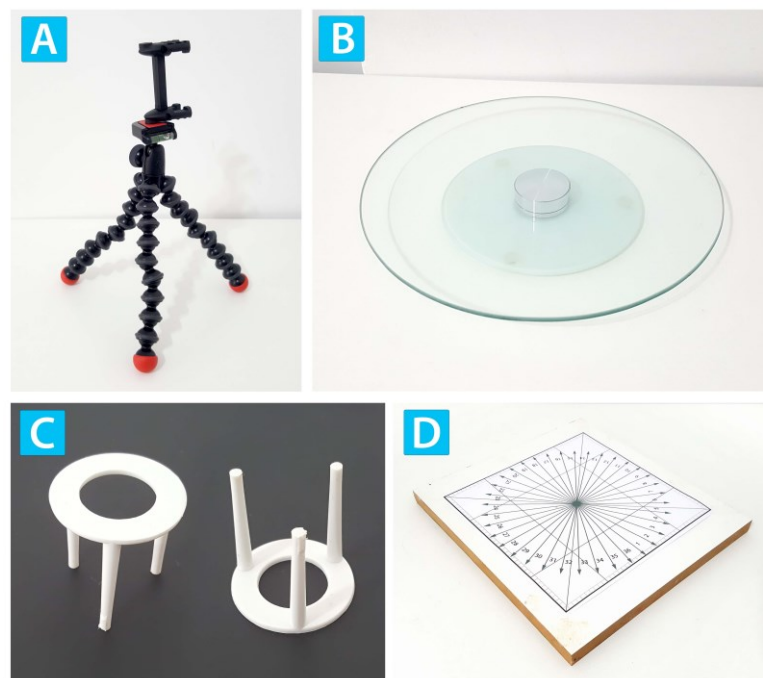
O segundo fator que pode influenciar no detalhamento do objeto gerado está relacionado com as informações visuais presentes no cenário de aquisição das imagens e cujas características são importantes para o processamento fotogramétrico em software, além de auxiliar do redimensionamento final em ambiente virtual.

Os cenários foram compostos por:

- Uma base giratória de confeitador;
- Uma estrutura para elevação do objeto;
- Luminárias de mesa e caixa com janelas para difusão de luz das luminárias;
- Um tripé de mesa com adaptador para celular;
- Alvos para referência visual e alinhamento;
- Folha fixada em plataforma, com marcações, em graus, para a plataforma, em 10°(para tomada de 72 imagens em média).

Adaptando procedimentos encontrados na pesquisa bibliográfica, fez-se uso de um tripé de mesa para apoio e manuseio do smartphone (Figura 32-A), uma base giratória de confeitador, de 240 mm de diâmetro, para rotação dos modelos (Figura 32-B), um tripé de suporte para caixa de pizza, de 34,5 mm diâmetro x 35 mm altura (Figura 32-C), além da confecção de uma base com marcações dos ângulos de giro, com as dimensões de 191 mm x 191 mm, impressa em folha A4 (ver Apêndice D), a qual foi colada em uma placa de MDF de 230 mm x 255 mm x 15 mm (Figura 32-D).

Figura 32 - Equipamentos auxiliares para coleta de imagens



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A placa MDF contendo a impressão das marcações dos ângulos foi posicionada sobre a plataforma giratória e sobre bancadas, conforme o método de captura das imagens. Além de servir como plataforma para apoio dos objetos, a prancha de MDF também comportou o

suporte de pizza, que serviu para elevar as amostras e minimizar a oclusão das partes inferiores dos objetos na tomada das fotos de algumas amostras. Os objetos mais pesados e instáveis foram estabilizados por um anel elástico de tecido.

3.1.6 Definição do processo de fotogrametria

A escolha do software de fotogrametria, para os experimentos da Fase 2, foi feita por meio de pesquisa bibliográfica e durante os ensaios preliminares. Para satisfazer o critério de baixo custo, optou-se pela utilização de softwares *open source* de fotogrametria testando-se os aplicativos Colmap[®] e o Meshroom[®] por terem características relacionadas à usabilidade, facilidade de instalação, configuração e aprendizado, com um amplo material de apoio.

Conforme afirma Falkingham (2020), uma variedade de soluções *open source* para fotogrametria estão disponíveis (Quadro 7) e, atualmente, o Meshroom[®] é a opção que apresenta maior facilidade de utilização, não necessitando de outros softwares para gerar o modelo final, bastando arrastar as imagens e pressionar o botão de início para a maioria das digitalizações, mesmo não sendo a opção de processamento mais rápido.

Quadro 7 – Softwares open source para fotogrametria.

| Software | Ano de lançamento | Características | Vantagens | Desvantagens |
|----------------|-------------------|--|--|--|
| MicMac | 2003 | <ul style="list-style-type: none"> ○ Instalado e executado no computador ○ Péssima qualidade dos resultados | <ul style="list-style-type: none"> ○ Possui um conjunto robusto para configurações ○ Tempo de processamento médio | <ul style="list-style-type: none"> ○ Péssima usabilidade ○ Funciona por linha de comandos |
| VisualSFM | 2011 | <ul style="list-style-type: none"> ○ Gera uma nuvem de pontos ○ Instalado e executado no computador ○ Gera resultados variados | <ul style="list-style-type: none"> ○ Trabalha em conjunto com outros softwares | <ul style="list-style-type: none"> ○ Pouco intuitivo e difícil de configurar ○ Necessita de outros softwares. Não produz textura |
| Open Drone Map | 2013 | <ul style="list-style-type: none"> ○ Executado no computador ○ Necessita de conexão com a internet para obtenção dos arquivos finais ○ Gera resultados excelentes | <ul style="list-style-type: none"> ○ Não é necessário o uso de placa de vídeo dedicada ○ Processamento rápido e ○ Várias opções de configuração | <ul style="list-style-type: none"> ○ Difícil de instalar e configurar ○ Interface complicada, necessitando de conexão com a internet ○ Não produz um único arquivo de textura |
| OpenMVG | 2013 | <ul style="list-style-type: none"> ○ Gera uma nuvem de pontos ○ Instalado e executado no computador ○ Gera resultados variados | <ul style="list-style-type: none"> ○ Trabalha em conjunto com outros softwares | <ul style="list-style-type: none"> ○ Pouco intuitivo e difícil de configurar ○ Necessita de outros softwares ○ Não produz textura |

| | | | | |
|-----------------------|------|--|---|---|
| MultiView Environment | 2014 | <ul style="list-style-type: none"> ○ Gera uma nuvem de pontos ○ Instalado e executado no computador ○ Gera resultados ruins | <ul style="list-style-type: none"> ○ Trabalha em conjunto com outros softwares | <ul style="list-style-type: none"> ○ Pouco intuitivo e difícil de configurar ○ Necessita de outros softwares ○ Não produz textura |
| Regard3D | 2015 | <ul style="list-style-type: none"> ○ Instalado e executado no computador ○ Resultados médios | <ul style="list-style-type: none"> ○ Processamento médio ○ Executa em computadores com placa de vídeo mais simples | <ul style="list-style-type: none"> ○ O processo não é automático e necessita de supervisão para cada etapa ○ Difícil configuração de parâmetros ○ Não produz um arquivo único de textura |
| Colmap | 2016 | <ul style="list-style-type: none"> ○ Instalado e executado no computador ○ Gera resultados excelentes | <ul style="list-style-type: none"> ○ Rápido | <ul style="list-style-type: none"> ○ Não produz textura ○ Necessita de placa de vídeo recente |
| Alicevision Meshroom | 2018 | <ul style="list-style-type: none"> ○ Instalado e executado no computador ○ Gera resultados excelentes | <ul style="list-style-type: none"> ○ Interface com ótima usabilidade e resultados em poucas etapas ○ Tempo de processamento médio ○ Produz um único arquivo de textura | <ul style="list-style-type: none"> ○ Necessita de configuração extra para redução dos tempos de processamento |

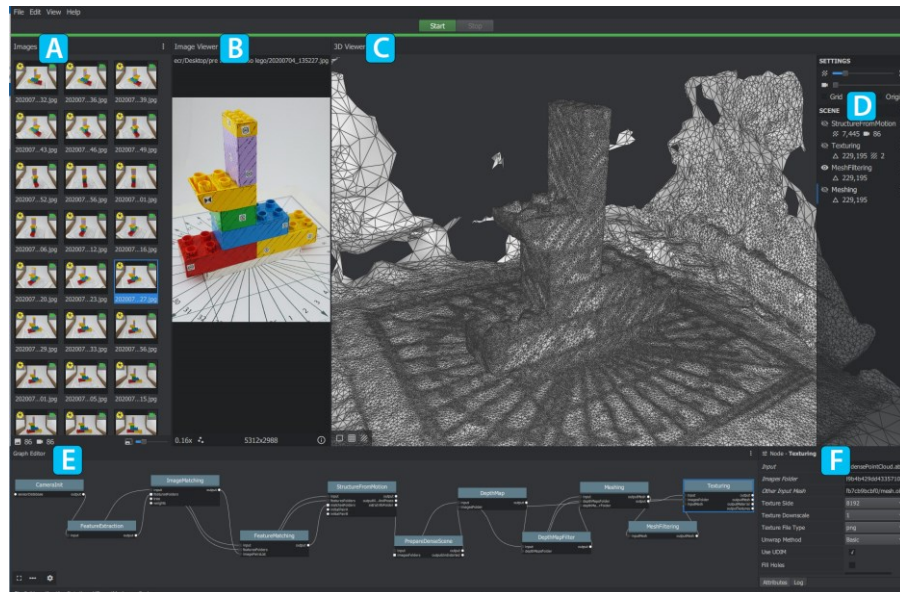
Fonte: Adaptado de Falkingham (2020).

O Colmap® é um software mais recente e carece em termos de usabilidade, necessitando que o usuário execute mais ações para realizar o processamento dos arquivos, exigindo um computador com placa de vídeo e processador mais robustos. Além do baixo custo, para a presente proposta, o software deveria ser de fácil operação e poder ser utilizado em computadores mais antigos. Essas características foram usadas para descartar o Colmap® do processo e investir os estudos no Meshroom®.

A Figura 33 sintetiza a interface do Alicevision Meshroom® que é dividida em janelas que atendem as interações do usuário com cada aspecto do workflow de fotogrametria por *Structure-from-Motion* (SfM) e *Multi View Stereo* (MVS). A Figura 33-A mostra a janela *Drop image Files / Folders* que recebe os arquivos das fotos digitais, que podem ser visualizadas detalhadamente na janela *Image Viewer* (Figura 33-B). A Figura 33-C mostra a janela *3D Viewer*, que apresenta a visualização das geometrias resultantes após o processamento das imagens.

Na janela SCENE (Figura 33-D), é possível controlar os modos de visualização do objeto 3D gerado podendo ser, por exemplo, *meshing* (malha 3D) *meshingFiltering* (malha 3D filtrada), *texturing* (malha com textura) ou *StructureFromMotion* (nuvem de pontos gerada).

Figura 33 - Interface do Meshroom

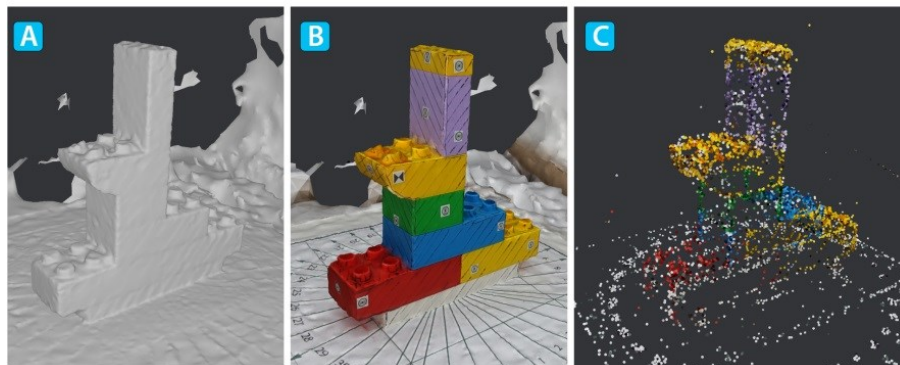


Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Para editar as configurações dos formatos e qualidade de arquivos que serão gerados, a janela utilizada é a *Graph Editor* (Figura 33-E), que oferece um conjunto de vários nós (*Nodes*) com configurações diversas, havendo uma janela própria (Figura 33-F) cujo conteúdo varia conforme o nó (*Node*) selecionado.

A adição de novos *nodes* e o início do processamento cria uma pasta com o *cache* das operações, e dentro desta pasta é gerada outra pasta correspondente para cada nó existente ou criado, onde são armazenados os vários formatos de arquivos resultantes do processamento, como a malha 3D (Figura 34-A), as texturas (Figura 34-B) e nuvem de pontos (Figura 34-C), que podem ser visualizados no software, conforme exemplifica a Figura 34.

Figura 34 - Tipos de visualização dos resultados



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

A utilização do sistema de nós no *Graph Editor*, além de gerar uma nova pasta para cada nova modificação de parâmetros, auxilia no desenvolvimento do projeto de forma iterativa, mantendo os resultados anteriores.

No fluxo de trabalho realizado com o software Meshroom[®] (Figura 35), para se gerar um arquivo 3D resultante do processamento de imagens, o usuário deve criar uma pasta e inserir uma sequência de fotos do objeto a ser digitalizado, fazer o download do Meshroom[®] no site de AliceVision[®], descompactar o arquivo e abrir o programa. Em seguida, o usuário deve selecionar todas as imagens da sequência e arrastá-las para a janela *Drop image Files / Folders*.

Seguidamente à leitura das imagens, já é possível iniciar o processamento dos arquivos por meio do botão *start*, ou executar alterações nas opções dos nós para obter outros resultados. Iniciado o processo, cada nó gera uma sequência de arquivos nas suas respectivas pastas, dentro da pasta *Cache*.

Figura 35 - Síntese do fluxo de trabalho do Meshroom



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Ao fim do processo, é possível acessar os arquivos finais dentro das pastas. Nesta pesquisa, o formato de arquivo 3D utilizado foi o popular .OBJ, que facilita a importação e análise em diversos softwares.

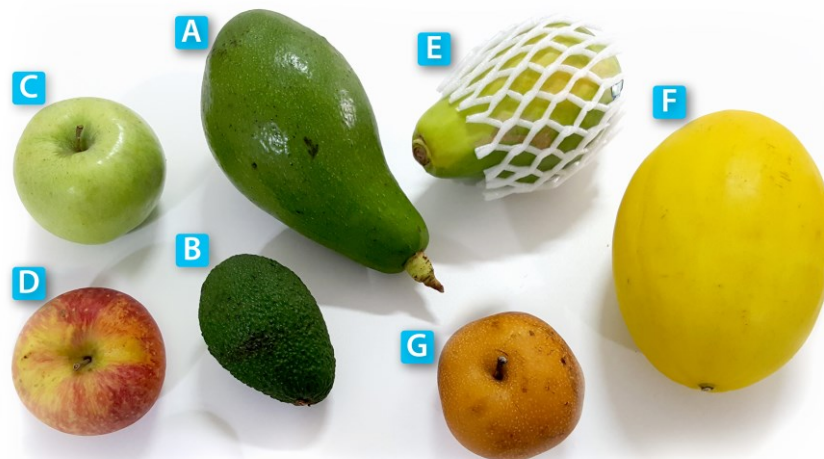
O Hardware utilizado para processar os arquivos de imagem e analisar os modelos tridimensionais foi um notebook Avell[®] (Figura 29-B) modelo 2019 com processador i7 9750H de nona geração, placa de vídeo Geforce[®] GTX 1660 Ti, disco 512 SSD com 32 gigas de memória RAM DDR 4 na plataforma Windows 10[®].

3.1.7 Definição das Amostras de alimentos frescos

Os objetos selecionados para o experimento foram as seguintes sete frutas frescas, que apresentavam, em seu volume e superfície, variáveis para análises:

- Abacate verde – Superfície rugosa (Figura 36-A);
- Avocado verde escuro – Superfície muito rugosa (Figura 36-B);
- Maçã verde – Superfície lisa (Figura 36-C);
- Maçã vermelha – Superfície lisa texturizada (Figura 36-D);
- Mamão mesclado – Superfície fosca (Figura 36-E);
- Melão amarelo – Superfície amarela - pouco texturizada (Figura 36-F); e
- Pera marrom – Superfície fosca muito texturizada (Figura 36-G).

Figura 36 - Amostras selecionadas para o estudo



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Os alimentos foram selecionados tendo como parâmetro baixa complexidade estrutural e os tamanhos ficaram entre 59 mm, para dimensões mínimas, e 204,5 mm, para as máximas, sendo o avocado a amostra que apresentou a maior rugosidade superficial.

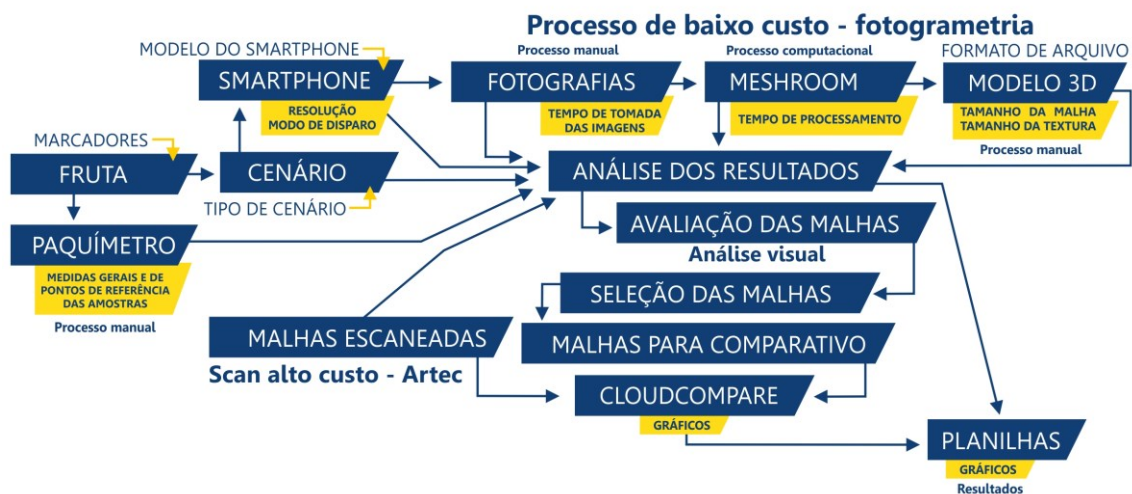
3.2 FASE 2: PROCEDIMENTOS PARA A COMPARAÇÃO DOS MODELOS E DOS MÉTODOS DE FOTOGRAMETRIA DE BAIXO E DE ALTO CUSTO

Esta seção descreve os procedimentos executados na Fase 2, que se dividem nas seguintes etapas: preparo das amostras; digitalização do modelo padrão de referência de cada

amostra por meio de escâner profissional de alto custo; digitalização das amostras nos diferentes cenários e smartphones por meio do processo de fotogrametria; coleta dos dados dimensionais; coleta dos dados quantitativos de tempo de processamento e tomada das fotos; coleta dos dados qualitativos relacionados a estrutura dos objetos gerados; coleta dos dados relacionados à análise de tarefa de cada cenário.

A avaliação estrutural em ambiente virtual é efetivada a partir de um comparativo entre as amostras das frutas digitalizadas por fotogrametria e modelos 3D de referência obtidos por scanner 3D, conforme sintetiza a Figura 37.

Figura 37 - Fluxograma do comparativo



Fonte: elaborado pelo autor.

Para complementar o comparativo estrutural 3D foram aferidas as médias dos volumes resultantes e a porcentagem de vértices que ficaram na faixa de tolerância de 1,0 milímetro de deslocamento linear positivo e negativo.

A verificação da precisão dos modelos 3D obtidos por fotogrametria utilizou o comparativo estatístico entre medidas de referência das amostras reais e do seu correspondente virtual (ANDRADE, 2016).

Na avaliação da qualidade estrutural dos modelos foi desenvolvido um instrumento de inspeção visual para classificar os modelos 3D conforme a quantidade de imperfeições identificadas.

A análise e classificação dos cenários e smartphones para coleta das fotos utilizou os seguintes parâmetros: o tempo de captura das imagens; o tempo médio de processamento; a quantidade média de imagens de cada smartphone reconhecidas e computadas pelo programa

de fotogrametria; e qualidade da geração dos modelos 3D de cada cenário e de cada smartphone.

A avaliação dos impactos do processo de digitalização de baixo custo levou em consideração os seguintes parâmetros: o tempo médio de preparo e fotografia das amostras; os custos dos equipamentos; o tempo médio de processamento de cada modelo 3D; a complexidade nos passos para o tratamento das malhas dos objetos 3D para aplicação em ambiente virtual comparada com um sistema de digitalização profissional.

Na Fase 2, para comparar algumas das variáveis relacionadas nos parágrafos anteriores, serão realizados testes estatísticos. A inferência estatística é uma metodologia para decidir se uma hipótese é verdadeira ou não, baseada em métodos de análise de dados que consideram as incertezas e variações provenientes de amostras.

Nos Testes de Hipótese, a hipótese nula é aquela da igualdade e a hipótese alternativa aponta se há diferença entre as médias comparadas. A probabilidade p de significância determina a probabilidade de errar ao rejeitar a hipótese nula em prol da hipótese alternativa.

Neste estudo, optou-se por considerar significativas as diferenças quando o valor p for menor ou igual a 0,05 (a chance de se errar ao afirmar que as médias são diferentes é menor ou igual a 5%).

Antes de executar testes comparativos entre médias, é necessário realizar um teste de normalidade, comumente o Kolmogorov-Smirnov ou o Shapiro-Wilk. O teste de Kolmogorov-Smirnov é feito para amostras maiores do que 30 elementos; para amostras com tamanhos menores, utiliza-se o teste de Shapiro-Wilk. Quando o valor desses testes retorna uma probabilidade de significância menor ou igual a 0,05, então há elementos suficientes para dizer que a distribuição não é Normal. Entretanto, quando o resultado de p for maior do que 0,05, pode-se considerar como Normais as distribuições, e isso permite o uso de testes paramétricos, como o teste T de Student, nas análises.

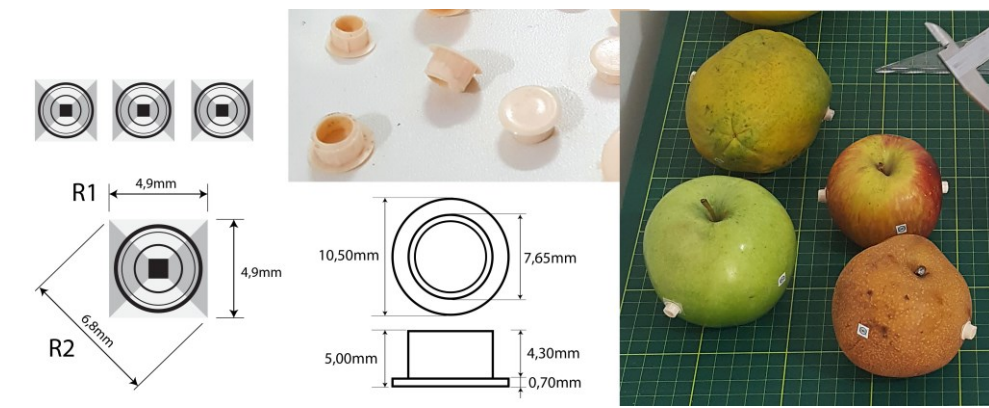
Para analisar se existem diferenças entre as médias de mais de dois grupos, utiliza-se a Análise de Variância e, quando o resultado é significativo, para identificar onde estão essas diferenças, realiza-se uma análise *a posteriori* (*pós hoc*) entre os pares de grupos, o que pode ser efetuado por meio do teste de Tukey. Quando não existe a normalidade nas amostras, a comparação entre as diversas médias é realizada usando testes não paramétricos, como o de Kruskal Wallis, sendo possível efetuar a análise *pós hoc* de Bonferroni para identificar onde estão os pares com médias significativamente diferentes.

Para auxiliar na execução dos testes estatísticos, no Capítulo 4, foram utilizados os softwares Jamovi® e Past®.

3.2.1 Preparo das amostras

As amostras selecionadas receberam marcadores e pequenas peças volumétricas de 10,5 x 5,0 mm que auxiliaram no posicionamento e tomada de medidas de referência para as análises posteriores em ambiente virtual (Figura 38).

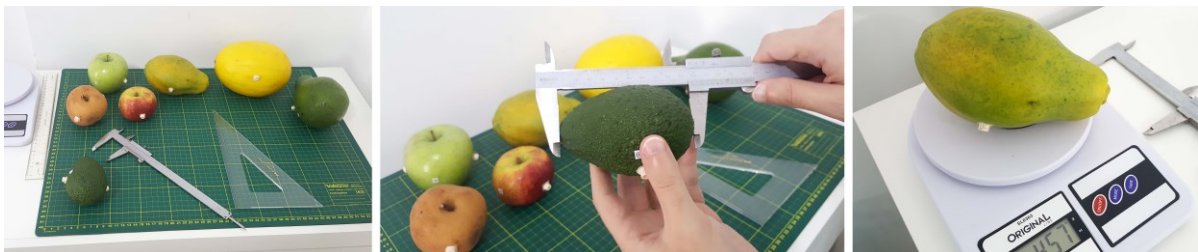
Figura 38 - Pinos e marcadores auxiliares aplicados



Fonte: elaborado pelo autor.

Em seguida, todas as amostras foram cuidadosamente mensuradas (para evitar danos na superfície frágil dos alimentos) em suas dimensões gerais, nas marcações e em pontos específicos de suas geometrias, em milímetros, além de serem pesadas (Figura 39).

Figura 39 - Coleta de medidas por paquímetro e balança

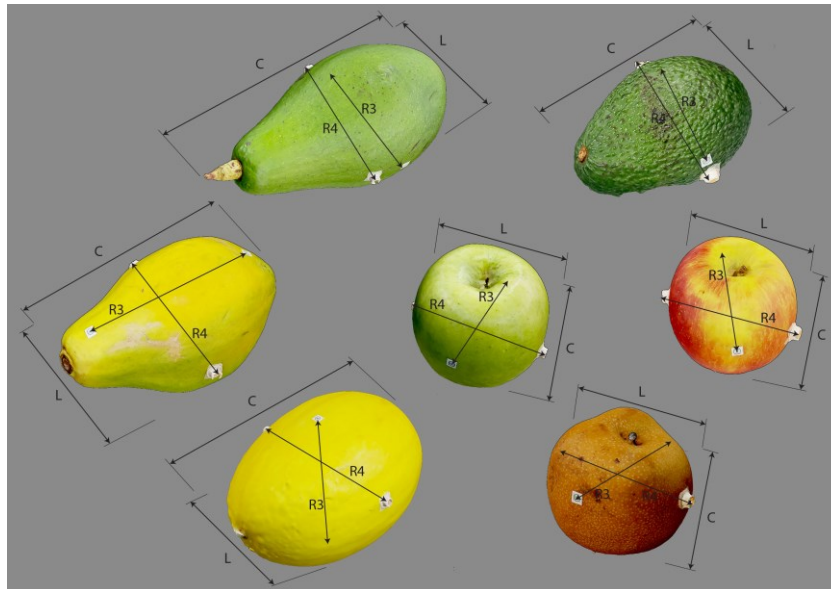


Fonte: elaborado pelo autor.

Os instrumentos utilizados foram régua, esquadros e um paquímetro, conforme Provenza (1994), com vernier de 1/20mm.

A Figura 40 apresenta as indicações de pontos de referência que foram coletados para o processo de alinhamento e comparação.

Figura 40 - Medidas de referência coletadas das amostras



Fonte: elaborado pelo autor.

Durante o processo de Design estrutural de embalagens, a aferição das medidas gerais e do peso dos produtos a serem embalados são requisitos fundamentais para o projeto.

Para simular essa tarefa, os dados de peso foram coletados e serviram para a análise dos cenários, visto que as amostras com massa e volume maiores apresentavam mais instabilidade no posicionamento sobre a plataforma e manuseio da técnica de base giratória.

3.2.2 Procedimento de Digitalização do Padrão Virtual das Amostras de Alto Custo

A coleta por meio do escâner 3D visou à aquisição dos dados geométricos dos alimentos, com alta precisão, sendo adequada para servir de padrão para o posterior comparativo com os modelos gerados pelo método de baixo custo.

Com o intuito de auxiliar nos processos de análise estrutural em ambiente virtual, cada amostra que foi submetida ao processo de fotogrametria também foi digitalizada por meio de

escâner profissional, que permitiu uma avaliação mais detalhada das geometrias resultantes dos ensaios preliminares (Figura 41).

O equipamento utilizado para as digitalizações foi o scanner de luz branca estruturada, Artec Eva Lite[®] (Figura 41-A), em conjunto com um notebook Avell[®] (Figura 41-B) modelo 2019 com processador i7 9750H de nona geração, placa de vídeo Geforce[®] GTX 1660 Ti, disco 512 SSD com 32 gigas de memória RAM DDR 4, na plataforma Windows 10[®], ambos os equipamentos disponibilizados pelo Laboratório de Interfaces e Interações em Tecnologia Assistiva (Li2TA) do CEART UDESC.

Figura 41 - Equipamento para digitalização tridimensional



Fonte: elaborado pelo autor.

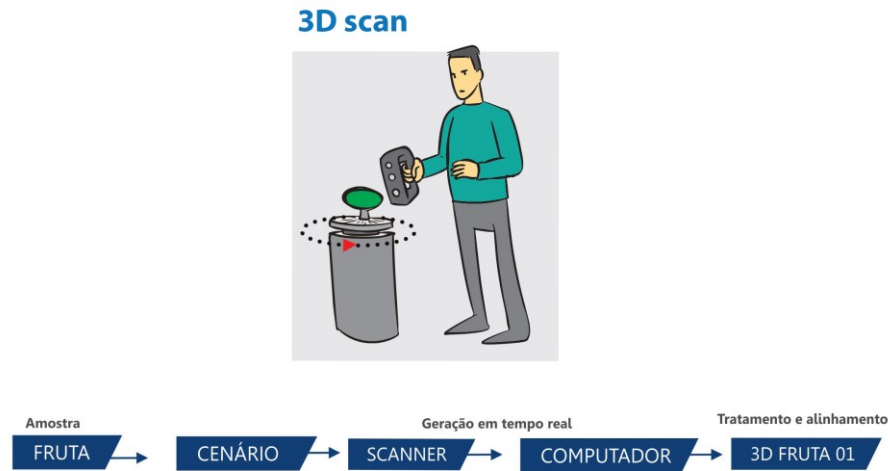
Para a operação do scanner Artec Eva Lite[®], empregou-se o software Artec studio[®] 13, que possibilitou a captura e tratamento dos arquivos 3D em tempo real.

O scanner Artec[®] Eva Lite permite a digitalização rápida e precisa de objetos com resolução 3D de até 0.5 mm e precisão de 0.1mm (ARTEC3D, 2020).

O modelo de escâner Artec Eva Lite não coleta os dados de textura, então optou-se por inserir algumas pequenas marcações volumétricas fixadas nas superfícies, por meio de cola ou adesivos para auxiliar nos alinhamentos em ambiente virtual.

Para coleta dos dados tridimensionais das sete amostras de frutas, por meio do scanner 3D, utilizou-se, sobre uma banquetta, a base giratória simples (suporte para bolo), juntamente com a plataforma em MDF, sendo o processo sintetizado conforme a Figura 42.

Figura 42 - Sequência e quantidade de escaneamentos



Fonte: elaborado pelo autor.

O resultado da aquisição, a nuvem de pontos, passou por dois tipos de tratamento no aplicativo de captura Artec Studio 13: Autopilot e Editor Auto.

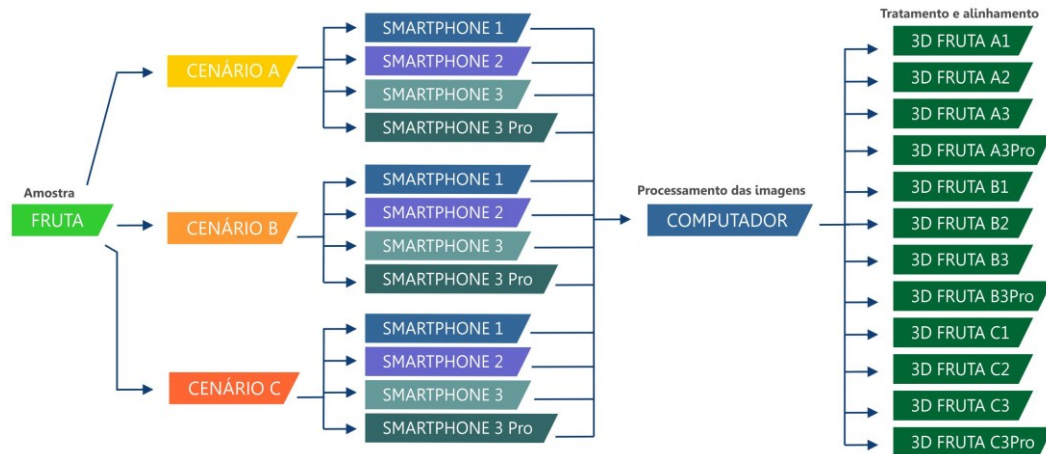
Os dados geométricos gerados foram exportados no formato de arquivo .obj por este ser um formato popular e para que pudessem ser importados em softwares 3D, que permitiram análises estruturais em ambiente virtual auxiliando no processo de comparação entre os métodos de fotogrametria.

3.2.3 Procedimento para Digitalização de Baixo custo por Smartphone

Os procedimentos executados a seguir visaram à coleta dos dados geométricos referentes às amostras dos alimentos selecionados, combinando, por meio de três cenários, as variáveis mais relevantes para o processo de fotogrametria de baixo custo e cujo método seja passível de utilização prática e simples.

Cada uma das sete amostras foi fotografada, totalizando 84 sequências de imagens que foram transferidas para o computador, onde passaram pelos mesmos procedimentos de processamento fotogramétrico no *Meshroom*, conforme detalhado na seção 3.1.6. A síntese de todo o processo pode ser visualizada pelo fluxograma da Figura 43.

Figura 43 - Síntese da tomada de fotos pelo método de fotogrametria de baixo custo

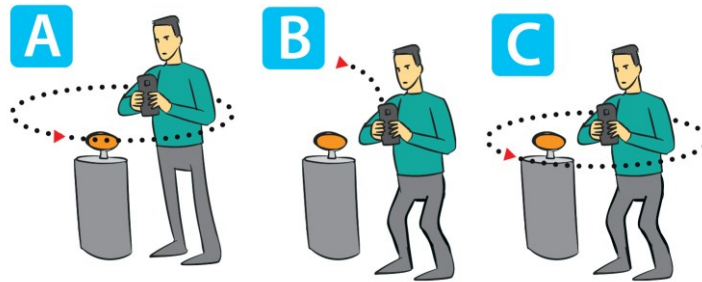


Fonte: elaborado pelo autor.

1 - Coleta de fotos em modo automático com base fixa, sem controle de iluminação

Foram coletadas as fotos dos sete alimentos, movimentando-se ao redor do objeto. Cada tomada de imagem foi feita com o auxílio de marcação de ângulos em uma folha impressa, com um total de 36 divisões de 10 graus em uma volta completa (Figura 44-A), com mudança de ângulo e altura (Figura 44-B) e uma nova volta (Figura 44-C), com ângulos e enquadramentos visualmente ajustados, obtendo-se entre 70 e 80 fotos.

Figura 44 - Sequência esquemática da tomada de fotos das amostras por base fixa



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

As coletas das amostras apoiadas em base fixa foram feitas com os três modelos de smartphones, em modo automático, utilizando o botão *touch* da tela do dispositivo, com resolução mínima de 12 megapixels e máxima de 13 megapixels.

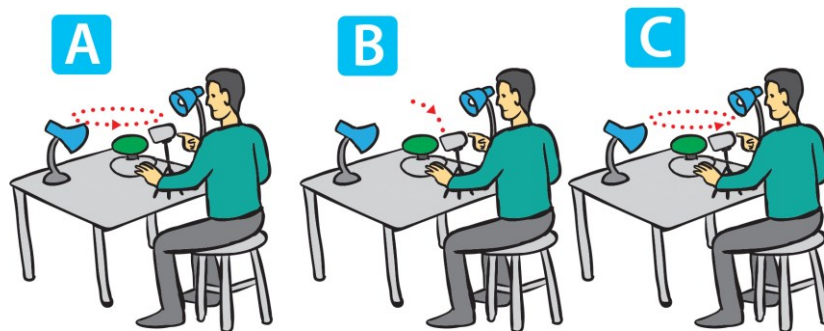
Após as coletas nos dispositivos em modo automático, foi feita uma sequência de fotos com o modelo de *smartphone* Note 5, em modo Pro, com ISO manual, foco automático e resolução de 16 megapixels, sendo o modo de disparo por voz.

A iluminação do cenário foi uma combinação da luz natural, oriunda das janelas, e de iluminação artificial, gerada pelas lâmpadas da sala, no horário entre as 9h e 16h. Ao fim do processo, foram coletadas 28 seqüências de imagens para posterior processamento em software de fotogrametria.

2 - Coleta de fotos no modo automático, com base giratória e sem controle de iluminação

Para o experimento em modo automático e base giratória, as fotos dos sete alimentos foram feitas com o auxílio de um tripé, marcações de ângulos em uma folha impressa e girando uma base móvel, com uma média de 36 fotos em uma volta completa (Figura 45-A), com mudança de ângulo e altura (Figura 45-B) e uma nova volta (Figura 45-C), respeitando visualmente as divisões de 10 graus, obtendo-se entre 70 e 85 fotos.

Figura 45 - Esquema da seqüência das fotos das amostras por base giratória



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

As aquisições das imagens dos modelos em base giratória foram repetidas para os três modelos de smartphones em modo, utilizando o botão *touch* da tela do dispositivo, com resolução mínima de 12 megapixels e máxima de 13 megapixels.

Repetiram-se as mesmas configurações para a tomada de foto em modo pro no *smartphone* Note 5, e as mesmas condições de luz ambiente.

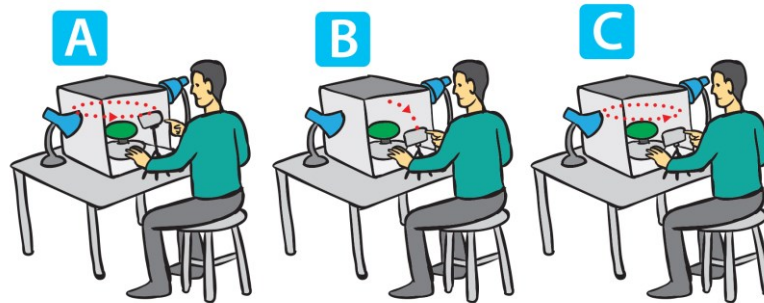
3- Coleta de fotos no modo automático, com base giratória em mini estúdio.

O objetivo do experimento do cenário de mini estúdio (Figura 46) foi verificar se ocorreria uma melhora na qualidade das imagens, como foco e redução de ruídos, sendo

confeccionado um mini estúdio para maximizar a iluminação e minimizar pontos de reflexão, tendo um ambiente de maior controle de luz.

Repetiram-se os mesmos procedimentos da coleta em base giratória, porém, com a adição de um mini estúdio fotográfico de baixo custo.

Figura 46 - Sequência das fotos das amostras por mini estúdio



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Ao final do processo, foram realizadas 84 sequências de fotos. A figura 47 mostra algumas imagens dos processos de digitalização.

Figura 47 - Imagens do processo de captura dos dados



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

3.2.4 Procedimento para Coleta dos Dados Dimensionais

Após a conclusão de todas as digitalizações, teve início os procedimentos para a coleta dos dados relacionados às malhas 3D dos objetos gerados.

Para isso, foi necessário importar os arquivos para um software 3D (Blender®) e, na primeira avaliação dos modelos, percebeu-se a necessidade de tratamento em todos os arquivos, retirando os elementos digitalizados que eram indesejados para a análise estrutural, como a base e outros artefatos gerados pelo processo de fotogrametria.

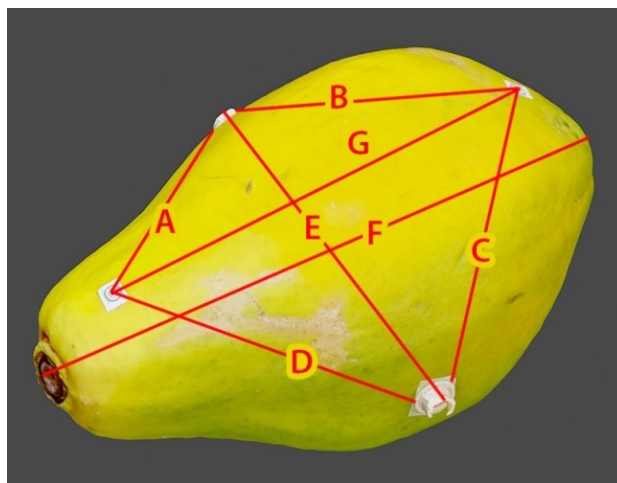
Logo após a exclusão dos artefatos, foi necessário redimensionar cada modelo dentro do ambiente virtual por meio do cálculo do fator de escala, efetuado a partir da razão entre duas medidas de distâncias conhecidas, uma no meio virtual e a outra extraída previamente, diretamente do modelo físico das amostras das frutas.

Em seguida, os modelos, juntamente com os arquivos 3D de referência escaneados pelo dispositivo Artec®, foram exportados para o formato .obj e importados no software Cloud Compare, onde receberam os ajustes finos de limpeza de artefatos e alinhamento no espaço tridimensional.

Após a realização dos alinhamentos, foram coletados os dados das distâncias entre os pontos de referência para a verificação da precisão por meio de análise estatística.

Cada amostra teve quatro pontos de referência inseridos, e foram coletadas as medidas entre as distâncias, juntamente com dimensões gerais e outros pontos auxiliares, conforme exemplifica a Figura 48.

Figura 48 - Exemplo de medidas lineares coletadas das amostras



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Para verificar se as medidas coletadas pelo método de fotogrametria estão nos limites de concordância com o método padrão por paquímetro, foram utilizados o coeficiente de correlação de Pearson, teste t de Student.

Com a finalidade de avaliar a precisão das medidas coletadas manualmente, utilizou-se o gráfico de Bland-Altman, que serve como guia para se decidir se o método tem confiabilidade entre as medições lineares feitas por paquímetro e régua virtual.

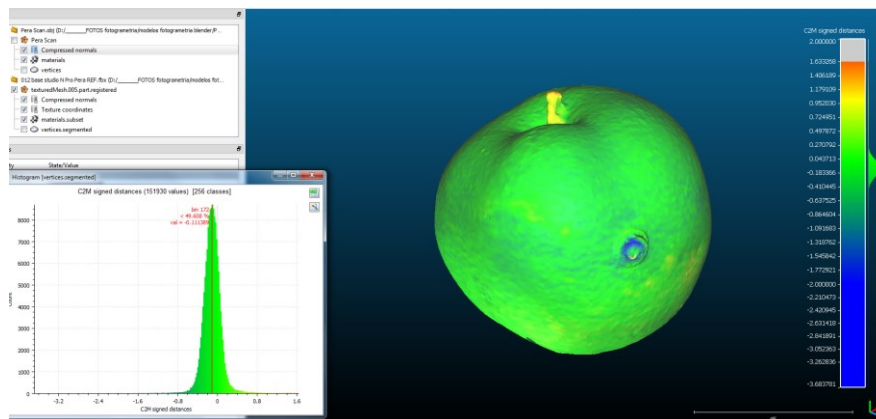
O método Bland-Altman é utilizado nas ciências médicas sempre que instrumentos diferentes avaliam as mesmas medidas, como balança digital e balança tradicional, paquímetro e régua virtual (ALTMAN e BLAND, 2006). O seu gráfico gera linhas paralelas com limites máximos e mínimos dentro de uma faixa de tolerância, com 95% de confiança, que deve ser aceita ou recusada pelo examinador.

3.2.5 Procedimento para Análise Comparativa dos Desvios Dimensionais

Para avaliar os desvios dimensionais em ambiente virtual, os programas de inspeção virtual realizam cálculos das posições relativas e absolutas no espaço tridimensional das nuvens de pontos ou dos vértices do objeto de referência e do objeto comparado. O software utilizado foi o Cloud Compare®, que é *open source* e fornece diversas ferramentas para análise de objetos tridimensionais (CLOUDCOMPARE, 2020).

No exemplo da Figura 49, o mapa de cor está ajustado para tolerância de 2mm, sendo que desvios para dentro da malha 3D, próximos a -2mm, aparecem em azul, e os desvios para fora em vermelho, sendo que as áreas onde os vértices estão alinhados é verde.

Figura 49 - Exemplo de comparativo entre nuvens de pontos no Cloud Compare



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

No presente comparativo, a tolerância positiva e negativa entre as medidas foi estipulada em 2,00 mm e a escala de cores foi ajustada para melhor visualização e análise, onde todos os pontos fora dos limites de tolerância receberam uma cor azul ou vermelha, dependendo da direção do deslocamento nos eixos X, Y e Z do espaço virtual.

Para executar essa função, é necessário alinhar os objetos de forma manual ou assistida pelo software e, em seguida, executar o comando de comparação entre os objetos.

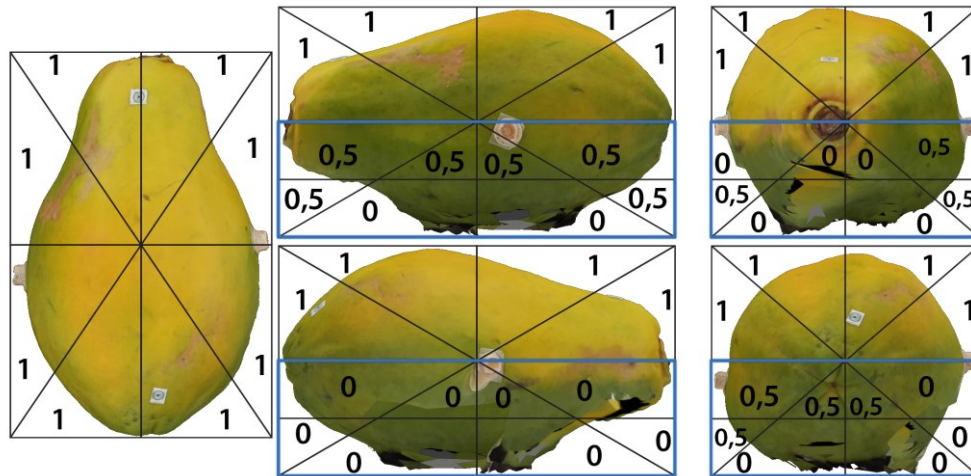
O resultado é expresso em gráficos e histogramas com a média e o desvio padrão de todos os vértices dos objetos que são registrados. Além disso, na superfície do objeto comparado, há um mapa de cores que possibilita a visualização das áreas de maior e de menor contato, tanto em deslocamento positivo quanto negativo nos eixos do espaço 3D.

O percentual de vértices que ficar na faixa entre -1 mm e 1 mm fará parte dos cálculos para aceitação da qualidade estrutural do objeto, juntamente com as médias mais baixas de deslocamento e das maiores notas na inspeção visual.

3.2.6 Procedimento para Análise Visual dos Dados Estruturais

O comparativo visual teve o objetivo de classificar e filtrar as malhas geradas por fotogrametria, identificando padrões e os defeitos. Para que fosse possível pontuar de forma objetiva os modelos, aperfeiçoando o tempo de análise, adaptaram-se os conceitos de Bonsiepe (2011) e Braviano, Gonçalves e Cordeiro (2018). Uma matriz foi desenvolvida e aplicada sobre as cinco vistas mais relevantes dos modelos gerados por fotogrametria (Figura 50), mapeando-as em oito áreas de interesse, na vista superior e em 12 áreas de investigação nas vistas laterais, frontal e traseira, de forma a considerar o efeito de oclusão na parte inferior (retângulos traçados em azul) das amostras geradas, aumentando a precisão da inspeção visual.

Figura 50 - Exemplo de análise visual por sobreposição de matriz em vistas 3D



Fonte: elaborado pelo autor.

Para cada quadrante da vista superior foi associado um valor binário em que a nota 1,0 representa uma visualização sem defeitos aparentes na imagem e onde o menor erro detectado recebeu o valor zero. Da mesma forma cada quadrante das vistas laterais na porção superior recebeu a mesma relação de pontuação, porém, a metade inferior de cada vista foi subdividida e gerou um valor de zero ou 0,5, sendo o valor final a média de todas as notas das cinco vistas.

3.2.7 Procedimento para Análise dos Cenários

Nestes comparativos, os dados gerados pela estatística descritiva foram utilizados para identificar os tempos totais de tomada e processamento das imagens e as médias para cada tipo de cenário, com a finalidade de conhecer a viabilidade da técnica, tendo como base as 84 amostras. Decidiu-se por um n amostral relativamente elevado para que fosse possível avaliar um quadro mais próximo de aplicação em situação real de projeto, onde alguns projetos exigem que vários produtos sejam medidos. Os dados coletados permitiram avaliar a quantidade e os tipos de amostras geradas que resultaram em modelos viáveis, conforme o tempo dispendido em cada cenário.

Além do tempo, foram identificadas e listadas as principais impressões na utilização de cada cenário em termos de execução da tarefa, facilidade de uso e conforto que, em conjunto com os dados estatísticos, serviram para pontuar e classificar os cenários avaliados.

3.2.8 Comparativo entre os métodos de digitalização de alto e de baixo custo

Após avaliação estrutural da qualidade das malhas 3D geradas pelo método de baixo custo, ocorrerá sua comparação com aquelas de referência, produzidas pelo método de alto custo, considerando os seguintes parâmetros: custos dos equipamentos e softwares; processos de digitalização; tempos para a captura dos dados; tempo para geração das malhas 3D; e resultados das digitalizações.

A finalidade de tais procedimentos é verificar a viabilidade da técnica de baixo custo, apontando, também, suas vantagens e desvantagens em relação à tecnologia de alto custo que serviu de parâmetro para os comparativos.

3.3 FASE 3: APLICAÇÃO DE AMOSTRAS EM ESTUDOS DE DESIGN DE EMBALAGENS

Para avaliar a viabilidade dos objetos 3D gerados por fotogrametria de baixo custo no design estrutural de embalagens, foram desenvolvidos seis projetos de design, onde se analisaram as aplicações de três modelos 3D de frutas em quatro fases de projeto de Design de Embalagens.

3.3.1 Geração de alternativas

Fase de geração de alternativas, onde foram aplicadas vistas das frutas para complementar os estudos para os conceitos da forma e sketches.

3.3.2 Design estrutural

Na fase de análise estrutural e modelagem, as amostras foram utilizadas para estudos de volumetria por meio de simulações de física de corpos rígidos, configuração espacial e empilhamento, simulação de projeção de sleeve termo encolhível, extração de seções para modelagem 3D e de superfícies, conforme Braviano (2019).

3.3.3 Detalhamento técnico

Utilizou-se secções dos modelos das frutas para a montagem de vistas para as plantas técnicas de detalhamento das propostas conceituais. Foram utilizadas, no auxílio dessas análises, ilustrações em meio digital e tradicional, software CAD Rhino® para detalhamento técnico e software *open source* para modelagem e simulações em ambiente virtual 3D Blender® (BLENDER3D, 2020).

3.3.4 Rendering

Foram utilizadas as frutas com as texturas geradas, em conjunto com as embalagens desenvolvidas nos estudos para apresentação das propostas finais.

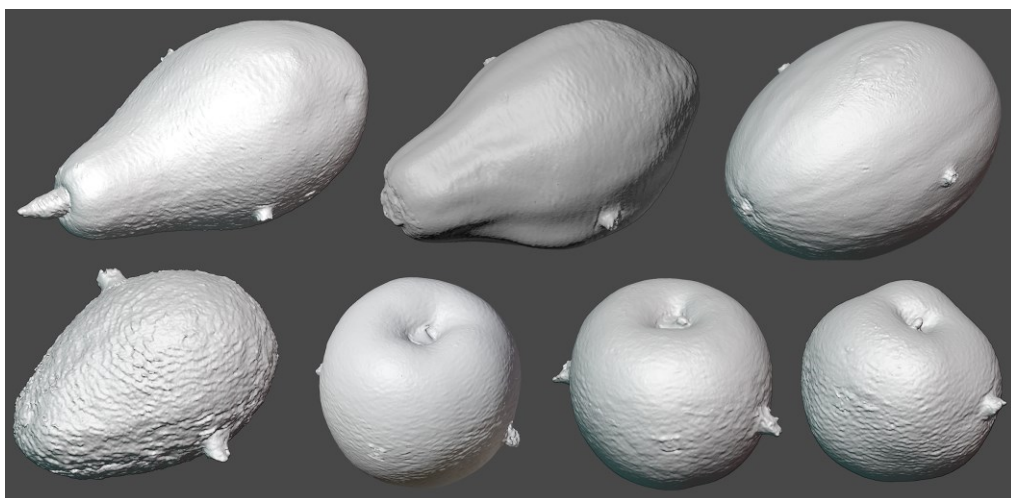
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os experimentos realizados, seus resultados e discussões. Trata-se, portanto do processo de digitalização de baixo custo em três cenários, com avaliações das amostras de referência, digitalizadas por scanner e, em seguida, por fotogrametria. Serão avaliados os três cenários utilizados no método de baixo custo e comparados os resultados entre os processos de alto e de baixo custo. Complementa-se este capítulo com a apresentação das aplicações de amostras geradas pelo método de baixo custo e suas contribuições para as fases iniciais de Design de Embalagens para alimentos frescos onde foram desenvolvidas seis opções de embalagens.

4.1 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DA DIGITALIZAÇÃO PELO PROCESSO DE ALTO CUSTO

As amostras de referência foram digitalizadas, inicialmente, durante dois períodos do dia, gerando um modelo viável em menos de 5 minutos, somando-se a isso mais 20 minutos de ajustes para filtrar imperfeições e alinhar as nuvens de pontos, o que viabilizou a produção de um modelo apto a ser exportado em formato .OBJ e utilizado em outros softwares. Os padrões virtuais podem ser visualizados na Figura 51.

Figura 51 - Geometrias resultantes do escaneamento de alto custo Artec 3D



Fonte: elaborado pelo autor.

Para verificar se as diferenças encontradas nas amostras medidas em ambiente virtual são generalizáveis à população, conforme já explicitado na seção 3.2, foram realizados testes t

de Student, após ter-se confirmado que as distribuições dos dados não diferem de uma distribuição normal ($p > 0,05$), aceitando-se a hipótese nula H_0 ⁴.

Na comparação entre as distâncias obtidas do objeto virtual e do objeto real de referência (Figura 52), a probabilidade de significância foi $p=0,139$, o que nos permite concluir que as médias das medidas nos objetos digitalizados pelo escâner Artec e aquelas de seus objetos resultantes não podem ser consideradas diferentes.

Figura 52 - Teste t de Student para amostras pareadas das medidas do scan

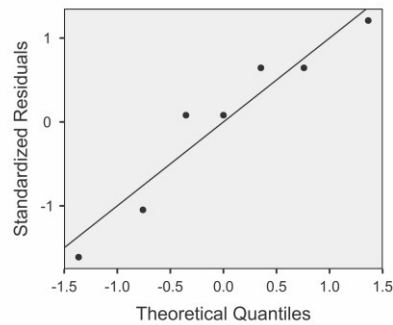
Paired Samples T-Test

| Paired Samples T-Test | | | | | |
|-----------------------|---------------|-------------|------|------|-------|
| | | statistic | df | p | |
| virtual adesivos | paqu adesivos | Student's t | 1.71 | 6.00 | 0.139 |

| Tests of Normality | | | | |
|--------------------|---------------|--------------------|-------|-------|
| | | statistic | p | |
| virtual adesivos | paqu adesivos | Shapiro-Wilk | 0.920 | 0.471 |
| | | Kolmogorov-Smirnov | 0.246 | 0.789 |
| | | Anderson-Darling | NaN | |

Note. Additional results provided by moretests

| Descriptives | | | | | |
|------------------|---|------|--------|------|------|
| | N | Mean | Median | SD | SE |
| virtual adesivos | 7 | 91.0 | 88.9 | 19.7 | 7.43 |
| paqu adesivos | 7 | 90.9 | 88.5 | 19.6 | 7.41 |



Fonte: elaborado pelo autor com auxílio dos softwares Jamovi e Past.

Conforme mostra o gráfico da análise (Figura 53), as medidas tomadas dos diâmetros dos pinos fixados nos objetos padrão, comparadas com as medidas tomadas por paquímetro, não se apresentaram estatisticamente diferentes ($p=0,268$).

Figura 53 - Teste t de Student para uma amostra do scan

One Sample T-Test

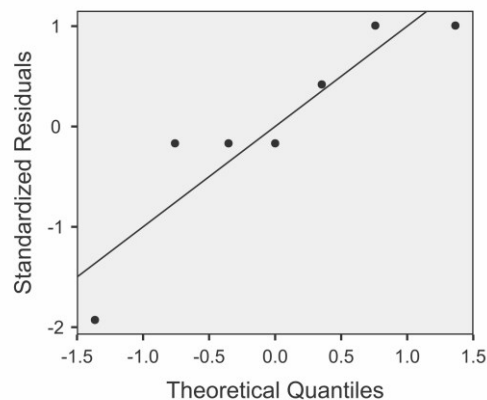
| One Sample T-Test | | | | |
|-------------------|-------------|------|------|-------|
| | Statistic | df | p | |
| pinos scan | Student's t | 1.22 | 6.00 | 0.268 |

Note. H_0 : population mean = 7.65

| Tests of Normality | | | |
|--------------------|--------------------|-----------|-------|
| | | statistic | p |
| pinos scan | Shapiro-Wilk | 0.856 | 0.140 |
| | Kolmogorov-Smirnov | 0.291 | 0.596 |
| | Anderson-Darling | NaN | |

Note. Additional results provided by moretests

| Descriptives | | | | | |
|--------------|---|------|--------|-------|--------|
| | N | Mean | Median | SD | SE |
| pinos scan | 7 | 7.73 | 7.70 | 0.170 | 0.0644 |

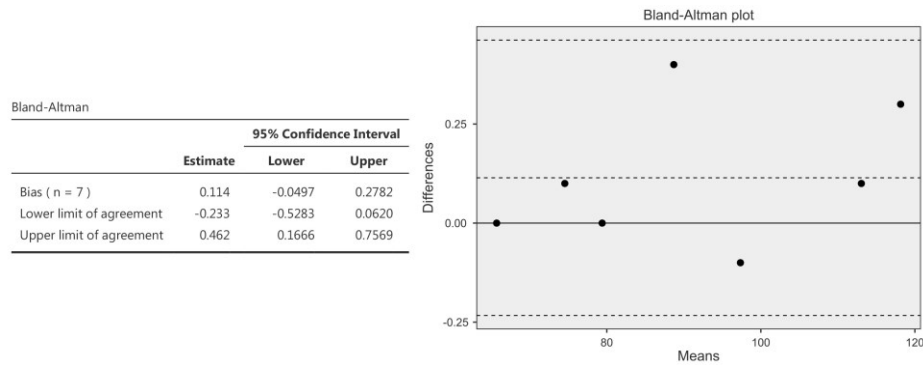


Fonte: elaborado pelo autor com auxílio dos softwares Jamovi e Past.

⁴ Nesse caso, a hipótese nula (H_0) indica a normalidade e a hipótese alternativa (H_1) a não normalidade da distribuição.

No intuito de avaliar a concordância dos dois métodos de mensuração, tanto o tradicional por paquímetro quanto aquele de régua em ambiente virtual, foi feito o teste de Bland-Altman (Figura 54) para as medidas entre os adesivos de referência.

Figura 54 - Teste de concordância entre instrumentos de coleta de Bland-Altman

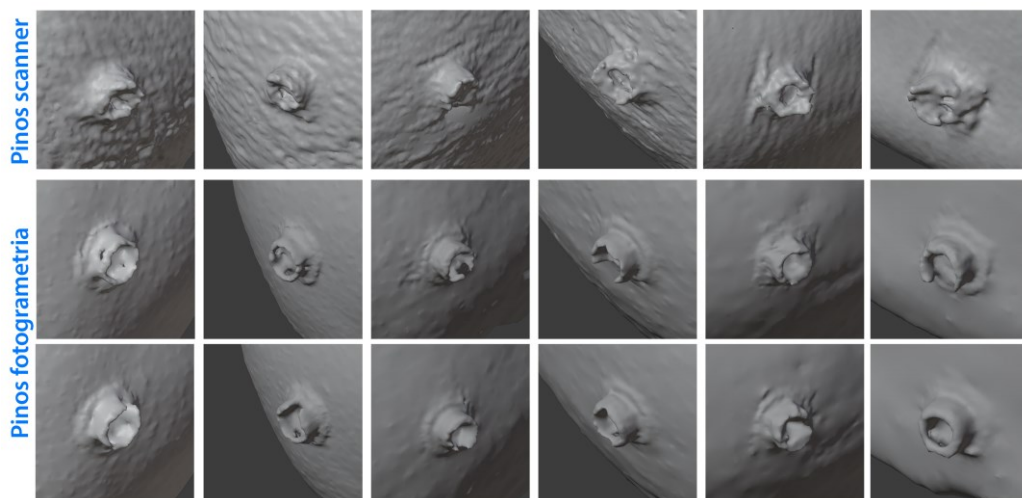


Fonte: elaborado pelo autor com auxílio dos softwares Jamovi e Past.

O gráfico de espalhamento mostra os limites de concordância superior e inferior dentro de um intervalo de confiança de 95%, indicando que os métodos utilizados para medir os objetos concordam entre si, com todos os valores dentro da margem de tolerância de 0,5 mm, para mais e para menos, e com bias (viés) de 0,11 mm.

Pode-se destacar, para os comparativos entre alto e baixo custo, que as pontas dos pinos de marcação geométrica das amostras 3D do escâner (Figura 55 - fileira superior) obtiveram uma reconstrução ligeiramente inferior, quando comparadas à exemplos de várias amostras geometrias geradas por fotogrametria de baixo custo (Figura 55 – fileiras inferiores).

Figura 55 - Imagens aproximadas dos pinos de referência de algumas amostras comparadas com os scans



Fonte: elaborado pelo autor.

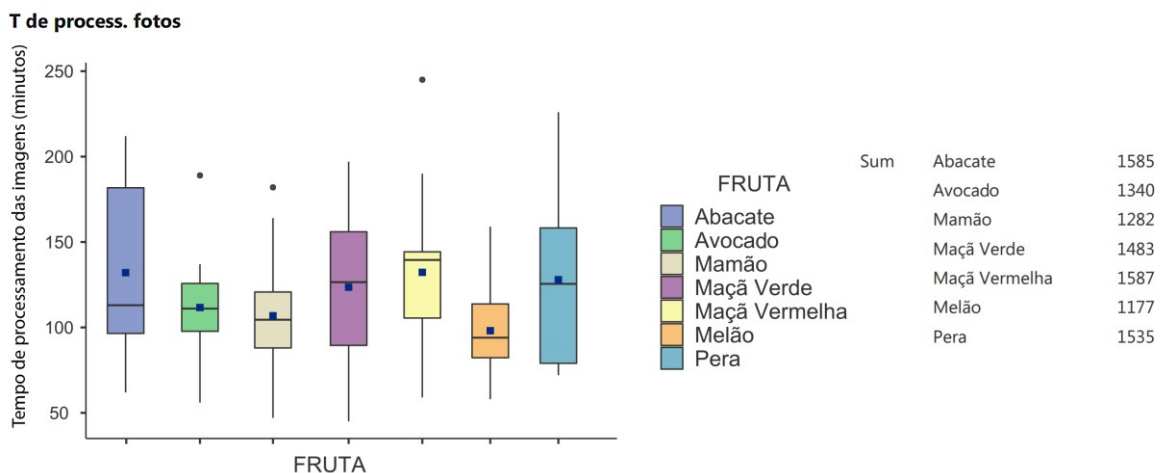
O pino de plástico, provavelmente por ser de cor clara e não apresentar nenhuma textura, foi o elemento que mais apresentou desvios, mesmo estando em uma área central para a maioria dos enquadramentos nas fotografias. Maior aprofundamento sobre esses resultados são apresentados nas seções 4.2 e 4.3, quando serão estabelecidas algumas comparações entre os resultados relativos a este processo de alto custo e aquele proposto, de baixo custo.

4.2 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DA DIGITALIZAÇÃO PELO PROCESSO DE BAIXO CUSTO

Os resultados dos procedimentos de fotogrametria que se serviram do uso de smartphones, propostos nesta pesquisa, dependem de diversas variáveis, que passam, a seguir, a serem analisadas.

A primeira informação (Figura 56) diz respeito à média do tempo de processamento das imagens⁵, para uma amostra de 84 modelos de sete grupos de frutas, e cuja soma dos tempos chega a 9.989 minutos de processamento computacional, o que equivale a 21 dias, com jornada de 8 horas. Os dados não consideram os tempos de ajuste, troca de arquivos e configuração de cada novo processamento. O tempo médio de processamento, para cada fruta, variou de 98 até 132 minutos.

Figura 56 - Gráfico box plot do tempo de processamento das frutas



Fonte: elaborado pelo autor com auxílio dos softwares Jamovi e Past.

⁵ Os testes de normalidade de Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov indicaram que os dados amostrais não diferem de uma distribuição Normal. A Análise de Variância de uma via indicou que não houve diferença estatisticamente significativa entre as médias dos grupos ($p = 0,352$) e, nesse caso, aceita-se a hipótese nula (H_0).

Os dados do gráfico da figura 56, juntamente com a Análise de Variância, indicam que, independente da amostra de fruta que foi utilizada nos experimentos, não houve diferença estatisticamente significativa nos resultados dos tempos testados.

Isso nos permite afirmar que, nesse experimento, nenhuma das frutas - mesmo com características distintas como morfologia, tamanho, formato, rugosidade, cor e textura - influenciou no tempo de processamento, ou seja, a variável tempo de processamento não é impactada pelo tipo de fruta.

Essa técnica é capaz de digitalizar pelo menos quatro amostras por dia, utilizando um único computador, comparativamente o escaneamento pelo sistema Artec®, dependendo das habilidades do operador e das configurações do sistema, pode digitalizar três amostras por hora.

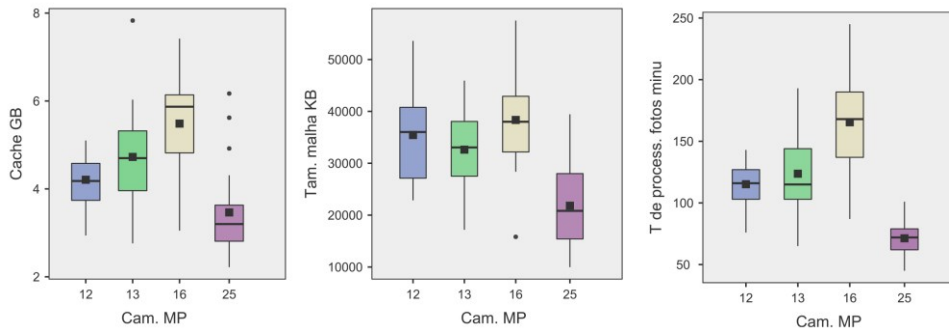
Os dados das médias do cache⁶, dos tamanhos das malhas⁷ e de tempo de processamento por minuto⁸, relacionados os diferentes tipos de resolução das câmeras dos smartphones em estudo, podem ser visualizados nos gráficos da Figura 57. É possível observar que o modo Pro, representado pelas barras de cor bege clara, influenciou no aumento do tamanho das malhas 3D geradas, no cache dos arquivos e, de forma mais acentuada, no tempo de processamento. O modo Pro, que utilizou a resolução de câmera de 16 megapixel, comparado com as amostras obtidas por outras resoluções e modo de câmera, não apresentou um ganho relevante na qualidade dos modelos gerados, como será detalhado na seção 4.3, quando tratar-se-á da avaliação dimensional das amostras.

⁶ Nos testes de Kruskal-Wallis, rejeitou-se a hipótese nula (H_0), pois houve diferença entre os grupos ($p < .001$). No teste *pós hoc*, identificou-se que a câmera de 16 MP gera um cache maior do que os outros; as câmeras de 12 e 13 geram caches iguais estatisticamente; e a câmera de 25 MP gera um cache menor do que todas as outras.

⁷ Também se encontrou diferença entre os grupos ($p < .001$) e o *pós hoc* indicou que não houve diferença dos tamanhos das malhas em Kb entre os grupos, exceto no grupo 25 MP, que teve diferença em todos os comparativos, rejeitando-se a hipótese H_0 .

⁸ Rejeitou-se a hipótese nula (H_0), pois houve diferença entre os grupos ($p < .001$). No teste *pós hoc*, identificou-se que a câmera de 16 MP gera um tempo de processamento maior do que os outros; as câmeras de 12 e 13 geram tempos iguais estatisticamente; e a câmera de 25 MP gera um tempo menor do que todas as outras.

Figura 57 - Gráficos das resoluções de câmera

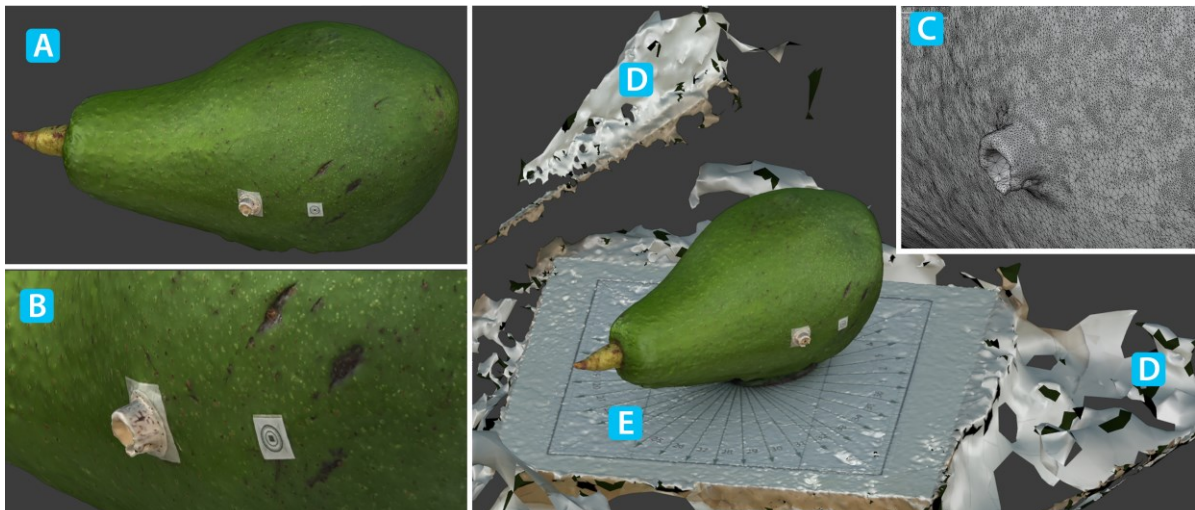


Fonte: elaborado pelo autor com auxílio dos softwares Jamovi e Past.

As análises estatísticas nos permite indicar a câmera de 25 megapixels caso exista a necessidade de reduzir os tempos de processamento, os tamanhos de cache e da malha 3d dos objetos que serão gerados.

De forma geral, como exemplifica uma amostra na Figura 58, os modelos resultantes apresentaram uma reconstrução adequada, com várias áreas bem estruturadas no centro de interesse (Figura 58-A) e detalhadas tanto na textura quanto na malha 3D, com maior ênfase nos pinos de referência geométrica (Figura 58-B e 58-C). O tamanho do arquivo .OBJ, muitas vezes, é ocupado por artefatos indesejados, gerados de forma distorcida pelo processamento (Figura 58-D) e pela base de apoio (Figura 58-E) em quase a totalidade das amostras.

Figura 58 - Características de uma amostra digitalizada por fotogrametria

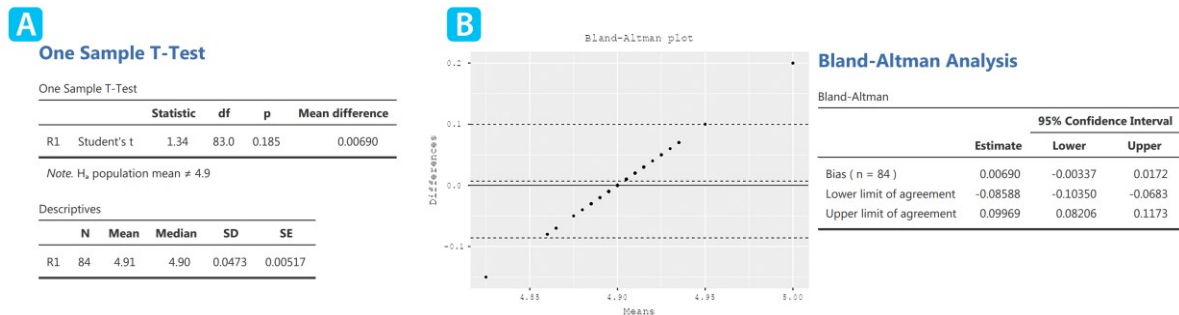


Fonte: elaborado pelo autor.

Para comparar a precisão entre os instrumentos de coleta das amostras obtidas por baixo custo, foi usado o teste t de Student (Figura 59-A), mostrando que não há uma diferença

estatisticamente significativa ($p=0.185$) entre as médias das medidas lineares coletadas das amostras. Complementarmente, o gráfico da Figura 59-B, apoiado pelo teste de Bland-Altman, indicam uma concordância entre os instrumentos, com os resultados da maioria das amostras ($n=84$) estando nos limites de precisão de 0,1 milímetro.

Figura 59 - Gráficos Teste t de Student e Bland-Altman para as medidas das amostras por fotogrametria



Fonte: elaborado pelo autor com auxílio dos softwares Jamovi e Past.

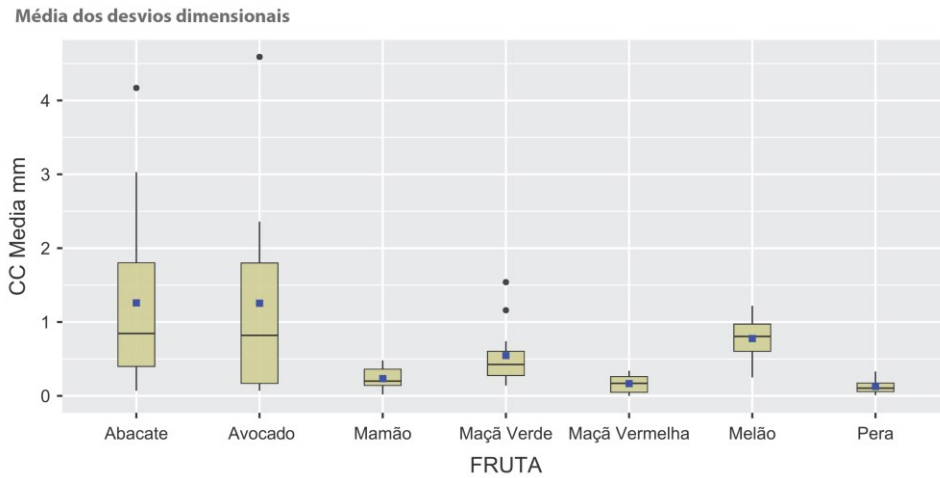
4.3 COMPARATIVO DIMENSIONAL ENTRE ALTO E BAIXO CUSTO

Na avaliação dos desvios gerais nas malhas 3D dos objetos obtidos pelo método de baixo custo (que será referenciado apenas como fotogrametria), foram feitas as comparações entre as 84 amostras 3D geradas com os seus respectivos padrões de referência (obtidos pelo método de alto custo utilizando o escâner Artec®). Para isso, todas as amostras de cada grupo foram perfeitamente alinhadas com seus objetos de referência e, então, cada modelo teve sua geometria comparada com aquele considerado de alta qualidade no software Cloud Compare®, gerando os desvios dimensionais para as médias e um gráfico Boxplot (Figura 60). Além dos gráficos, foram gerados mapas de cor (que serão analisados nas seções 4.3.1 a 4.3.7) referentes às distâncias dos vértices dos objetos de baixo custo na superfície do objeto padrão (alto custo).

O principal gráfico de avaliação dimensional quantitativa (Figura 60) apresenta os resultados das medianas⁹, médias (quadrado azul) e desvios dimensionais nas malhas 3D referentes aos 84 modelos resultantes das amostras, agrupadas por tipo de fruta.

⁹ Após o teste de Kruskal-Wallis, rejeitou-se a hipótese nula (H_0), pois houve diferença entre os grupos ($p < .001$) e, no teste *pós hoc* de Bonferroni, identificou-se a existência da diferença das médias entre alguns grupos. Os grupos do Abacate e do Avocado apresentaram médias diferentes dos grupos da Maçã vermelha, Mamão e Pera. O Melão apresentou média diferente dos grupos da Pera, Maçã vermelha e do Mamão. O grupo da Maçã verde apresentou média maior do que o da Maçã vermelha e o da Pera.

Figura 60 - Gráficos Boxplot da análise de desvios dimensionais por grupo de frutas



Pode-se observar, nos gráficos Boxplot, que a maioria das frutas apresentou médias e medianas que ficaram dentro dos limites de tolerância de 1 milímetro de desvios, nos eixos X, Y e Z, sendo o grupo da Pera aquele que teve a melhor reconstrução, pois sua média se aproximou de zero e teve uma pequena dimensão vertical na caixa, a menor dentre todas, indicando uma maior precisão estrutural média, na geometria 3D do grupo de objetos a que se refere. Quanto mais a média se aproxima do zero, menores são os erros e desvios dimensionais e, conseqüentemente, a qualidade estrutural média é melhor.

As frutas de cor verde (abacate, avocado e maçã verde) obtiveram as maiores médias e desvios, tendo, conseqüentemente, os piores resultados estruturais, além de serem os grupos que apresentaram *outliers*, isso com maior destaque nos grupos do abacate e avocado.

No grupo do abacate, os maiores desvios podem estar relacionados à combinação dos fatores de brilho excessivo na superfície da amostra, em conjunto com a cor escura. O surgimento de um *outlier* (01_BFJ5AB) pode ter sido causado pela combinação desses fatores em conjunto com o excesso de desfoque nas imagens que foram obtidas nessa sequência, o que pode ter dificultado o processamento para geração da nuvem de pontos.

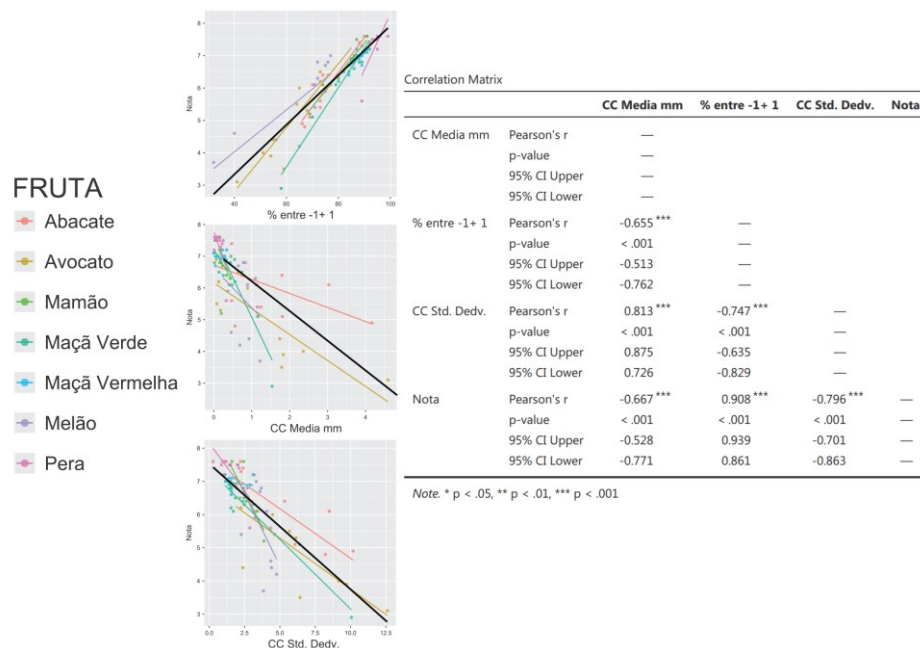
Já no grupo do avocado, a cor mais escura e a superfície muito rugosa podem ter contribuído para gerar os desvios e médias altas. O *outlier* do grupo (09_BSN5AV), cujas imagens resultantes estavam bem nítidas e iluminadas, pode ter surgido devido às características estruturais da amostra do avocado, em conjunto com um erro aleatório.

Os dois resultados discrepantes, no grupo da Maçã verde, podem estar relacionados à falta de nitidez encontrada em grande quantidade das fotografias geradas.

Para aprofundar as análises das amostras geradas, por fotogrametria de baixo custo, foram utilizadas as seguintes variáveis: as notas do instrumento de inspeção visual, conforme detalhamento efetuado na seção 3.2.6; os dados referentes às estatísticas descritivas relacionadas à porcentagem de vértices nos limites de tolerância entre -1 e + 1 milímetros; o tempo de processamento e a média de desvios geométricos. Os dados obtidos foram organizados em tabelas, que estão distribuídas nas seções 4.3.1 até 4.3.7.

Utilizando a matriz de correlação e o coeficiente de correlação de Pearson, para avaliar a força das relações e a relevância desse instrumento, a variável Nota, gerada pelo instrumento que foi desenvolvido foi associada à três grupos de variáveis quantitativas extraídas dos cálculos do Cloud Compare, gerando o gráfico de espalhamento (Figura 61) e que expressam a qualidade dos objetos 3d gerados: a média dos desvios dimensionais; o desvio padrão; a porcentagem de vértices dentro dos limites de tolerância de qualidade (entre -1 mm e +1 mm). A variável (% entre -1+1) criada por meio de filtragem das porcentagens dos vértices que estavam dentro dos limites de tolerância de 1 mm positivos e negativos, possibilitou classificar os objetos que obtiveram as melhores reconstruções e os menores desvios dimensionais e foi a variável que teve a mais forte correlação com a variável nota do instrumento.

Figura 61 - Matriz de correlação, diagrama de dispersão e reta de regressão linear entre as variáveis de qualidade estrutural



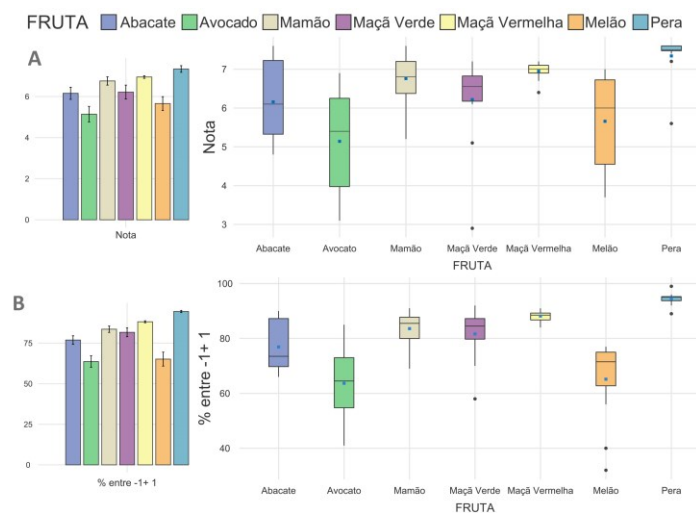
Fonte: elaborado pelo autor com auxílio dos softwares Jamovi e Past.

Os coeficientes de correlação revelaram um forte indício de que o instrumento desenvolvido com o grid de mapeamento visual pode ser útil para a filtragem qualitativa de objetos 3D gerados por fotogrametria. Utilizando este procedimento, por meio de inspeção visual, é possível complementar ou até mesmo substituir o mapa de cor gerado por software, simplificando a análise estrutural preliminar e trazendo inovação para o processo de visualização e decisão, além de dispensar, em casos mais simples, o uso de comparativos qualitativos com modelos 3D digitalizados por outros equipamentos.

Após os procedimentos de fotogrametria e a sua relação positiva (0.908) com as variáveis de estudo quantidade de vértices e porcentagem de vértices nos limites de tolerância definidos e uma correlação negativa (-0.796) com os desvios dimensionais, pois quanto menores foram os desvios maiores serão as notas aplicadas e todas as relações, conforme indica a matriz de correlação, apresentam uma correlação forte e estatisticamente significativa na ordem de 95%.

Para que possa ser melhor visualizada essa relação, a Figura 62 apresenta um conjunto de gráficos boxplot e de barras, gerados pelo instrumento na avaliação da qualidade estrutural e das médias das porcentagem de vértices, entre -1 e + 1 mm, para os grupos de frutas. Pode-se observar a forte associação entre as notas mais altas, atribuídas para cada grupo de frutas (Figura 62-A), e os valores da variável relacionada à porcentagem de vértices que estão próximos de 100%, dentro dos limites de tolerância de qualidade estrutural (Figura 62-B). Notas com médias próximas da nota 5 (avocado) têm uma porcentagem de vértices abaixo de 70%, por exemplo.

Figura 62 - Gráficos dos resultados da aplicação do instrumento de avaliação 3D



Fonte: elaborado pelo autor com auxílio dos softwares Jamovi e Past.

Não havendo estudos teóricos que indiquem a linha de corte para que um resultado seja aceitável, esta pesquisa considerará as notas acima de 4,7 aceitáveis para os modelos 3D obtidos, as notas dadas aos modelos gerados que são acima de 6,0 são modelos considerados de ótima construção, sendo o limite de nota máxima 8,0 (atribuída as amostras padrão do escâner Artec).

Para realizar a análise comparativa visual dos modelos, utilizou-se o mapa de cores, que é gerado pelo software Cloud Compare. Para cada fruta, foi estruturada uma tabela 3x4, organizada em colunas que representam os tipos de cenário testados e em linhas que representam o smartphone com o modo de fotografia utilizado. Nela, cada célula apresenta, no canto superior esquerdo, a nota gerada pela inspeção visual auxiliada pelo instrumento de sobreposição de matriz.

Nas seções a seguir, apresentam-se os grupos de frutas, com uma figura em tons de cinza do lado esquerdo (modelo gerado por fotogrametria) e a figura colorida do lado direito (modelo 3d gerado pelo scanner Artec) contendo as imagens mapeadas em uma escala de cores, sendo os tons azul escuro ou vermelho, relativos às áreas com maiores desvios e erros de reconstrução. As imagens que apresentam notas altas (maiores que 6,0, conforme explicitado em 3.2.6) são consideradas de ótima reconstrução, sendo 4,7 a nota mínima aceitável. O fato de algumas imagens apresentarem predominância de tom verde e, ao mesmo tempo, notas baixas se dá por causa das falhas de construção se localizarem no lado oposto modelo 3D, que não está visível na figura. Outro detalhe importante é a relação entre os valores das médias Cloud Compare e as Notas não serem sempre lineares, pois algumas amostras apresentam um conjunto pequeno de vértices muito deslocados, aumentando os valores médios, sendo essa questão corrigida pela ferramenta de filtragem que eliminou a maior parte dos vértices muito distantes, minimizando esta distorção para o comparativo.

4.3.1 Análise das amostras do abacate

A Tabela 2 apresenta os dados referentes à qualidade da construção tridimensional para o grupo do abacate com as porcentagens entre os limites de tolerância e a nota obtida na inspeção visual, sendo que nenhuma delas está abaixo do limite mínimo 4,7, estabelecido como mínimo para uma malha 3d aceitável.

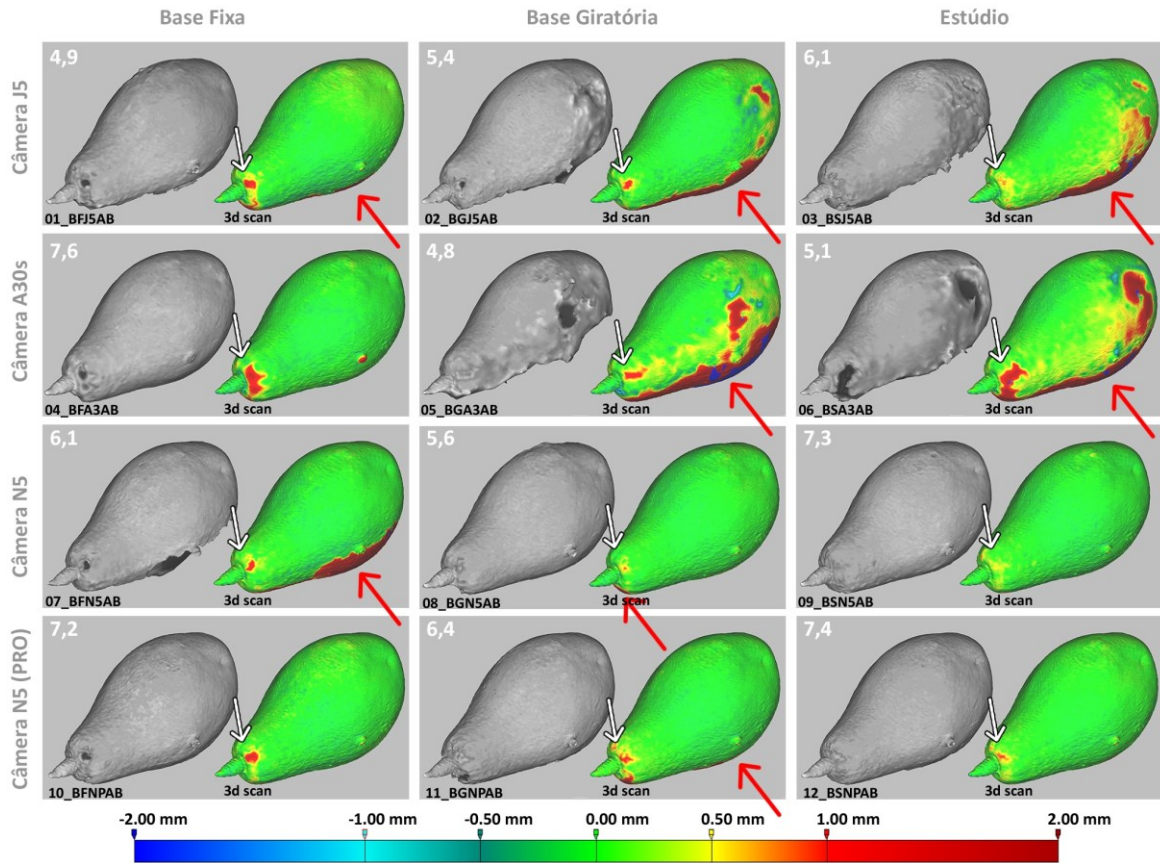
Tabela 2 - Notas e porcentagens dos desvios dimensionais entre -1 e +1mm do abacate

| ID Abacate | Nota | Porcentagem de vértices entre -1 e +1 mm |
|------------|------|--|
| 01_BFJ5AB | 4,9 | 66,0 |
| 02_BGJ5AB | 5,4 | 73,0 |
| 03_BSJ5AB | 6,1 | 70,0 |
| 04_BFA3AB | 7,6 | 90,0 |
| 05_BGA3AB | 4,8 | 67,0 |
| 06_BSA3AB | 5,1 | 69,0 |
| 07_BFN5AB | 6,1 | 77,0 |
| 08_BGN5AB | 5,6 | 73,0 |
| 09_BSN5AB | 7,3 | 89,0 |
| 10_BFNPA3B | 7,2 | 87,0 |
| 11_BGNPA3B | 6,4 | 74,0 |
| 12_BSNPA3B | 7,4 | 88,0 |

Fonte: O autor.

Na figura 63, estão organizados os resultados das amostras do abacate. Para cada par de imagens, aquelas da esquerda, em tons de cinza, representam os modelos gerados por fotogrametria (baixo custo), enquanto as da direita, os objetos padrão do Artec® 3D (alto custo), com o mapa de cor do comparativo entre as malhas registradas na sua superfície.

Figura 63 - Abacate

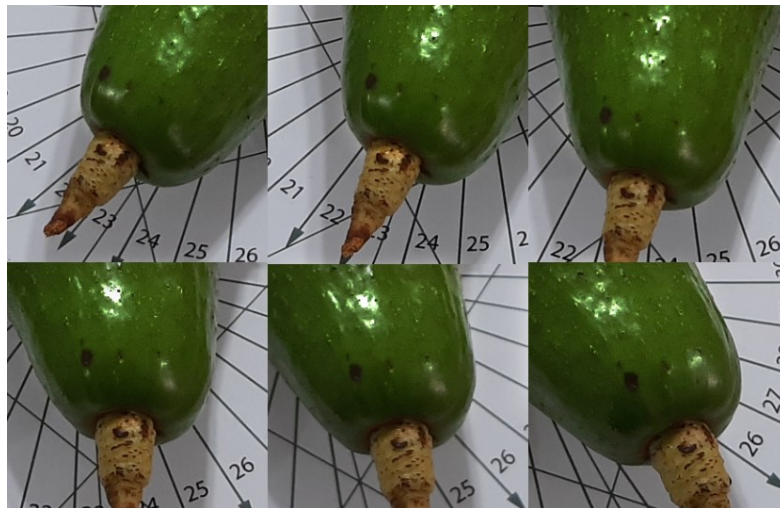


Fonte: elaborado pelo autor.

Percebem-se, nas regiões em vermelho, indicadas pelas setas vermelhas, os pontos de desvio acentuado, que podem estar relacionados à oclusão do objeto em contato com a base de apoio.

Outra região que apresenta uma clara ocorrência de erros (Figura 63 – setas brancas) é a área frontal do modelo, próxima à parte conhecida como pedúnculo. Uma possível causa é o excesso de brilho e reflexos na superfície da fruta, obtidos ao fotografar, em contraste com as cores escuras, gerando erro no processo de reconhecimento efetuado pelo software de fotogrametria, conforme explicita a Figura 64, que apresenta detalhes de uma sequência de fotos da amostra em base fixa da câmera A30s.

Figura 64 - Brilhos e reflexos gerados pela iluminação na amostra Base Fixa A30s



Fonte: elaborado pelo autor.

Ressalta-se a existência de homogeneidade (cores verdes) na região externa das marcações geométricas referentes aos pinos, com uma boa reconstrução tridimensional, predominantemente na base, quando se compara à amostra de padrão do escâner, cujas pontas dos pinos obtiveram um pior resultado de reconstrução, conforme foi mencionado na seção 4.1.

4.3.2 Análise das amostras do avocado

A Tabela 3 indica que as notas obtidas por esse grupo revelam uma boa avaliação, considerando que a nota mínima, para esse estudo, atribuída a uma malha 3d com construção aceitável é 4,7.

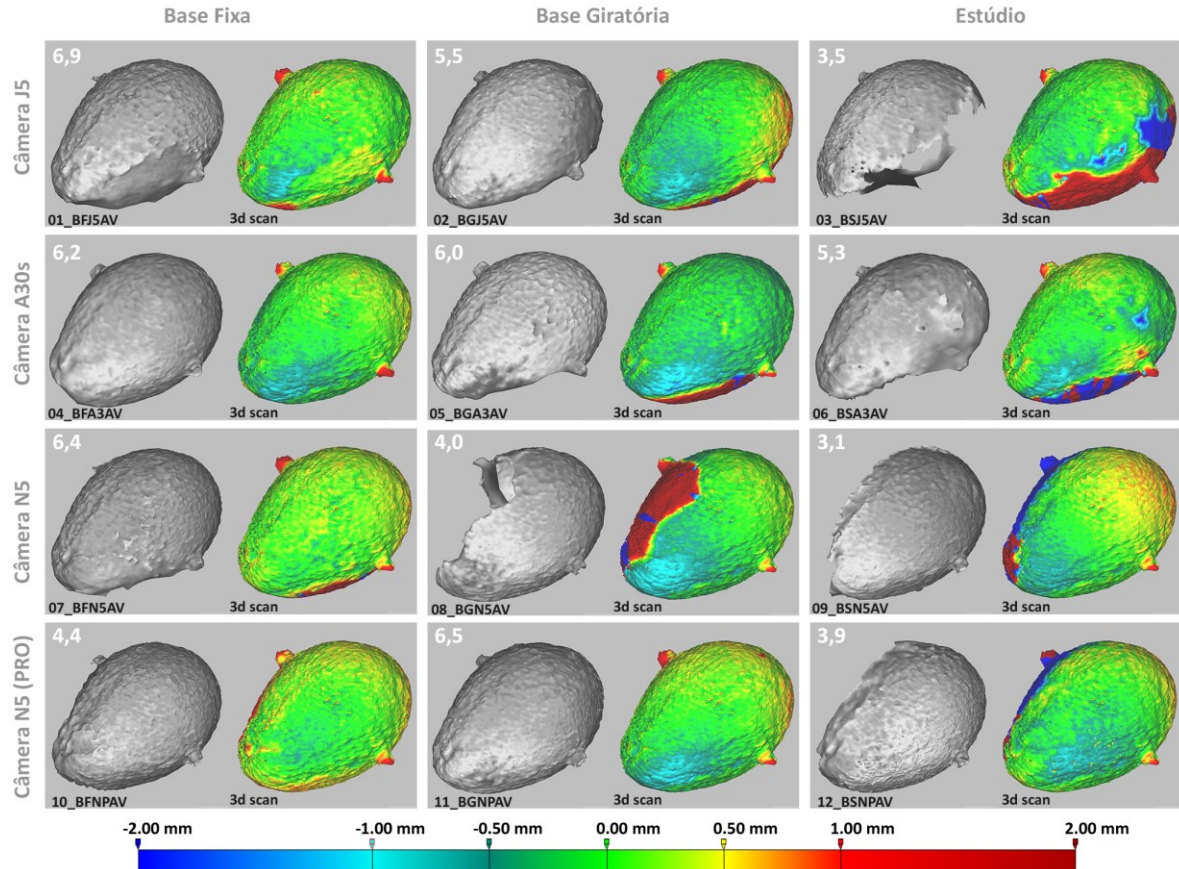
Tabela 3 - Notas e porcentagens dos desvios dimensionais entre -1 e +1mm do avocado

| ID Avocado | Nota | Porcentagem de vértices entre -1 e + 1 mm |
|------------|------|---|
| 01_BFJ5AV | 6,9 | 85,0 |
| 02_BGJ5AV | 5,5 | 64,0 |
| 03_BSJ5AV | 3,5 | 59,0 |
| 04_BFA3AV | 6,2 | 73,0 |
| 05_BGA3AV | 6,0 | 65,0 |
| 06_BSA3AV | 5,3 | 68,0 |
| 07_BFN5AV | 6,4 | 76,0 |
| 08_BGN5AV | 4,0 | 51,0 |
| 09_BSN5AV | 3,1 | 41,0 |
| 10_BFNPAV | 4,4 | 55,0 |
| 11_BGNPAV | 6,5 | 73,0 |
| 12_BSNPAV | 3,9 | 54,0 |

Fonte: O autor.

A Figura 65 apresenta os resultados obtidos pela amostra de cada modelo do avocado, onde se percebe, pela ocorrência de tons de verde, amarelo e azul claro, uma heterogeneidade nas cores das imagens referentes às superfícies, indicando uma maior tendência de aproximação dos vértices da média de tolerância entre -1 mm e + 1 mm.

Figura 65 - Mapa de cor das amostras do Avocado



Fonte: elaborado pelo autor.

Pode-se, então, supor que a maior quantidade de erros, desvios e notas baixas deve estar relacionada com a natureza estrutural da amostra, que apresenta uma superfície rugosa e relativamente complexa, com as cores uniformes em tom verde escuro e cujas características podem ter influenciado o processo de reconstrução computacional. Também é notável que a qualidade do smartphone não foi fundamental para a melhora da captura dos modelos, pois os erros e notas baixas também estão distribuídas pelas linhas e colunas.

4.3.3 Análise das amostras da maçã verde

A Tabela 4 apresenta os dados referentes às variáveis em estudo, sendo que nove amostras apresentam 80% ou mais de vértices dentro dos limites de tolerância (-1mm e +1mm).

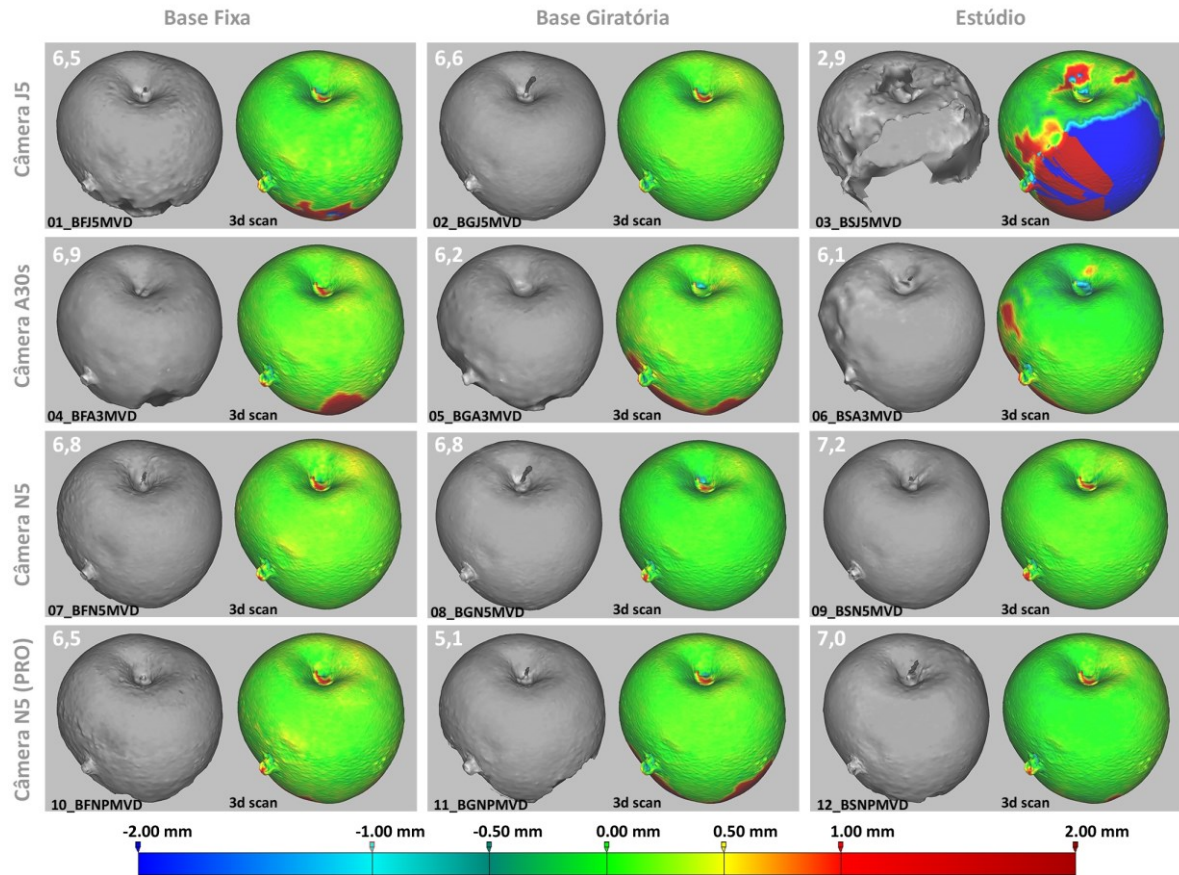
Tabela 4 - Notas e porcentagens dos desvios dimensionais entre -1 e +1mm da Maçã verde

| ID Maçã verde | Nota | Porcentagem de vértices entre -1 e + 1 mm |
|----------------------|-------------|--|
| 01_BFJ5MVD | 6.5 | 82.0 |
| 02_BGJ5MVD | 6.6 | 86.0 |
| 03_BSJ5MVD | 2.9 | 58.0 |
| 04_BFA3MVD | 6.9 | 85.0 |
| 05_BGA3MVD | 6.2 | 80.0 |
| 06_BSA3MVD | 6.1 | 79.0 |
| 07_BFN5MVD | 6.8 | 89.0 |
| 08_BGN5MVD | 6.8 | 88.0 |
| 09_BSN5MVD | 7.2 | 92.0 |
| 10_BFNPMVD | 6.5 | 84.0 |
| 11_BGNPMVD | 5.1 | 70.0 |
| 12_BSNPMVD | 7.0 | 87.0 |

Fonte: O autor.

Os comparativos da amostra da maçã verde, sintetizados na Figura 66, apresentam boas notas e uma predominância de uniformidade nos resultados, em termos de concordância entre as superfícies, levando-nos a crer que a sua estrutura suavemente texturizada, ainda que um pouco brilhosa, contribuiu para a obtenção de imagens adequadas ao processamento do algoritmo de reconstrução.

Figura 66 - Maçã Verde



Fonte: elaborado pelo autor.

Apenas uma amostra (03_BSJ5MVD, obtida no estúdio, com a câmera J5) teve nota (2,9) abaixo da mínima aceitável e outra não obteve uma construção considerada ótima (11_BGNPMVD, obtida na base giratória, com câmera N5 PRO), estando as outras dez com resultados considerados excelentes. Tal resultado é melhor que aquele do grupo do abacate, para o qual se obteve sete classificações excelentes. É possível observar que a região com maior índice de cores na escala fora da tolerância está nos locais de oclusão, tanto na parte inferior dos objetos, como já era previsto, quanto nas reentrâncias do pedúnculo e dos pinos de referência.

4.3.4 Análise das amostras da maçã vermelha

Na amostra da maçã vermelha (Tabela 5), 11 exemplos possuem mais de 85% dos seus vértices dentro dos limites de tolerância.

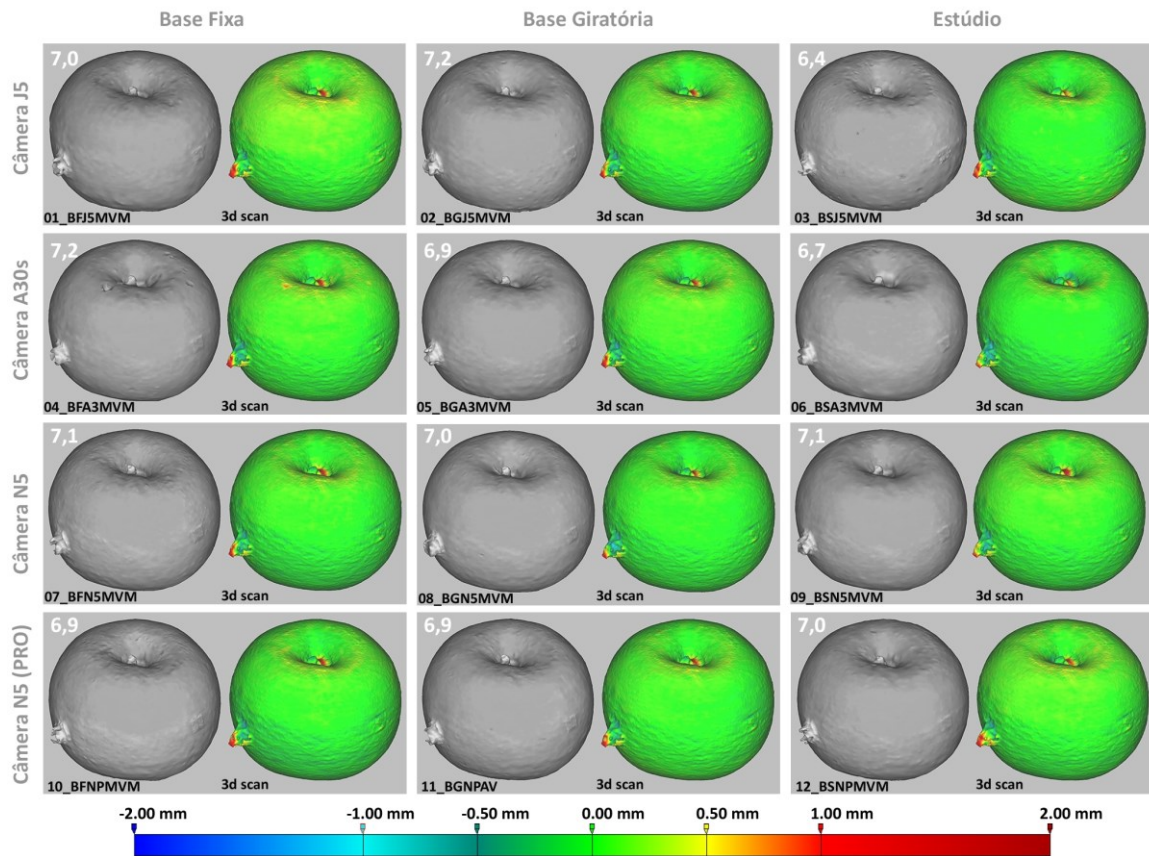
Tabela 5 - Notas e porcentagens dos desvios dimensionais entre -1 e +1mm da Maça vermelha

| ID Maça vermelha | Nota | % de vértices entre -1 e + 1 mm |
|------------------|------|---------------------------------|
| 01_BFJ5MVM | 7.00 | 89.0 |
| 02_BGJ5MVM | 7.20 | 87.0 |
| 03_BSJ5MVM | 6.40 | 84.0 |
| 04_BFA3MVM | 7.20 | 91.0 |
| 05_BGA3MVM | 6.90 | 86.0 |
| 06_BSA3MVM | 6.70 | 89.0 |
| 07_BFN5MVM | 7.10 | 90.0 |
| 08_BGN5MVM | 7.00 | 88.0 |
| 09_BSN5MVM | 7.10 | 91.0 |
| 10_BFNPMVM | 6.90 | 88.0 |
| 11_BGNPMVM | 6.90 | 86.0 |
| 12_BSNPMVM | 7.00 | 89.0 |

Fonte: O autor.

Provavelmente por ter uma superfície naturalmente texturizada, com cores mescladas entre o amarelo e o vermelho, e um espalhamento de sinais em toda a superfície, esse grupo apresentou um alto nível de reconstrução 3D. Tal nível é corroborado pelas notas, consideradas excelentes para todas as amostras, e pela predominância do tom verde, na maioria dos resultados da Figura 67.

Figura 67 - Maça Vermelha



Fonte: elaborado pelo autor.

Constata-se que as regiões com maior nível de erros são as extremidades dos pinos e do pedúnculo. Os erros dimensionais na região da oclusão, na parte superior, foram minimizados pelos procedimentos de captura de imagem dos métodos, que se iniciam ou se concluem com uma tomada de fotos da parte superior, tendo isso sido percebido em todas as amostras que apresentaram esse formato típico (maças e pera).

4.3.5 Análise das amostras do mamão

O mamão foi outra fruta que gerou um grupo de amostras com a maioria de notas ótimas (11 amostras), com dez delas contendo 85% dos seus vértices dentro dos limites de tolerância (Tabela 6).

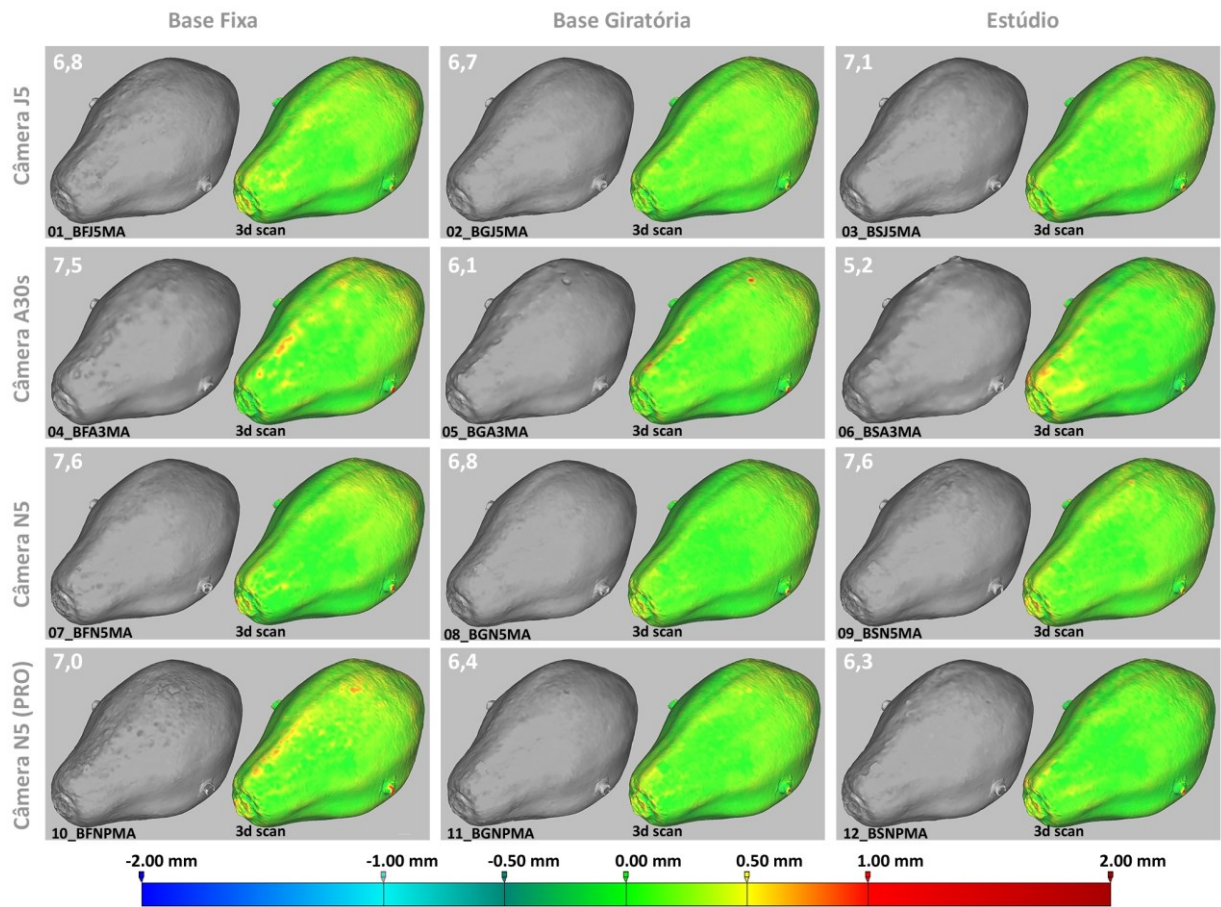
Tabela 6 - Notas e porcentagens dos desvios dimensionais entre -1 e +1mm da amostra mamão

| ID Mamão | Nota | Porcentagem de vértices entre -1 e + 1 mm |
|-----------------|-------------|--|
| 01_BFJ5MA | 6.80 | 86.0 |
| 02_BGJ5MA | 6.70 | 84.0 |
| 03_BSJ5MA | 7.10 | 90.0 |
| 04_BFA3MA | 7.50 | 87.0 |
| 05_BGA3MA | 6.10 | 74.0 |
| 06_BSA3MA | 5.20 | 69.0 |
| 07_BFN5MA | 7.60 | 91.0 |
| 08_BGN5MA | 6.80 | 85.0 |
| 09_BSN5MA | 7.60 | 91.0 |
| 10_BFN5MA | 7.00 | 86.0 |
| 11_BGNPMA | 6.40 | 80.0 |
| 12_BSNPMA | 6.30 | 80.0 |

Fonte: O autor.

A Figura 68 apresenta os mapas de cores relacionados aos resultados dos comparativos da amostra do mamão, que retratam, uma boa representação estrutural e superficial em todas as amostras. Por ter uma superfície mesclada de tons claros em verde e amarelo, pode-se supor que essa característica auxiliou no processo reconhecimento e reconstrução pelo algoritmo.

Figura 68 - Mamão



Fonte: elaborado pelo autor.

O elemento que auxilia nesta afirmação está relacionado à constância das cores afastadas das áreas de conformidade, entre o azul claro e o amarelo, e é reconhecido visualmente na cor vermelha, estando presente nas extremidades dos pinos de referência e na parte inferior, não visualizada, em todas as amostras.

4.3.6 Análise das amostras do melão

A Tabela 7 apresenta os resultados das variáveis de estudo dimensional para o grupo do melão e pode-se perceber uma maior variedade de resultados.

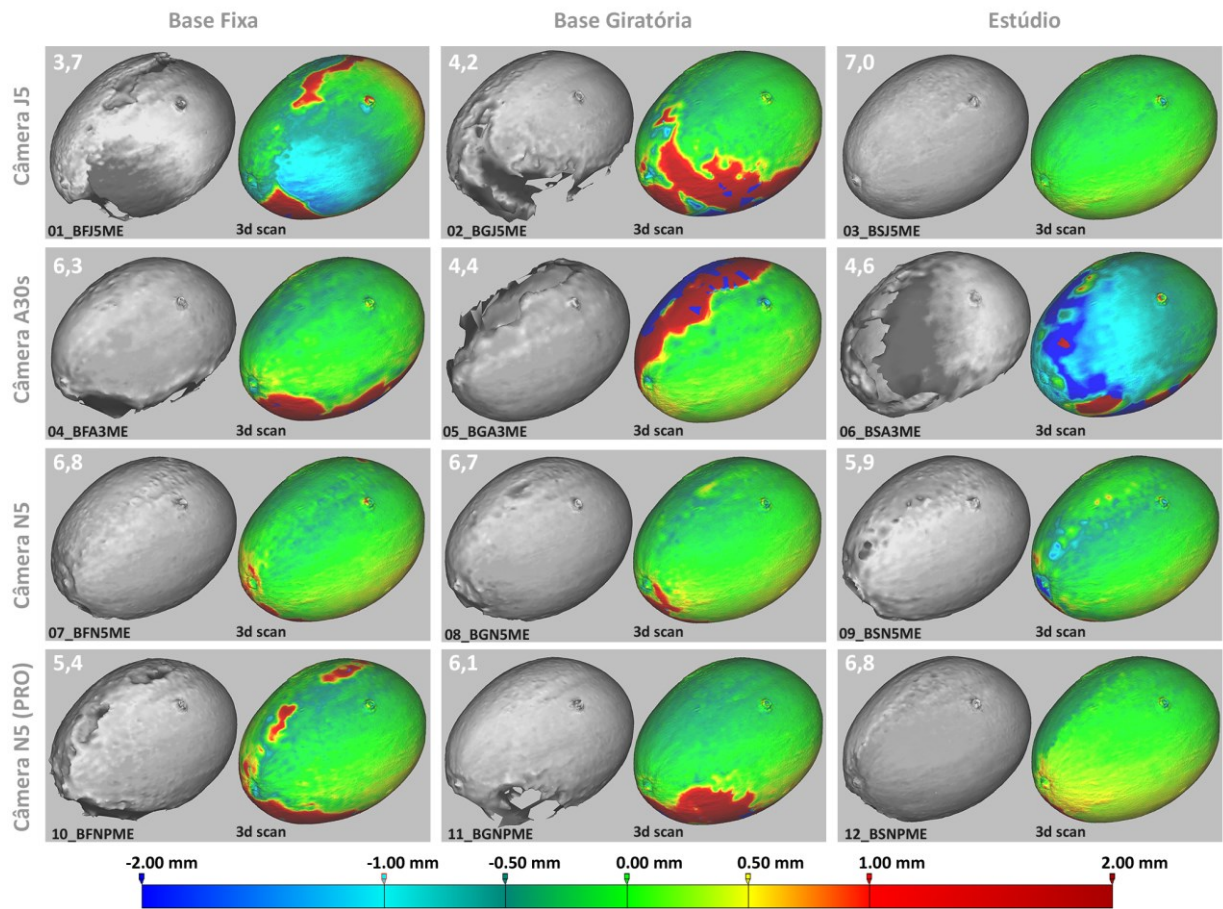
Tabela 7 - Notas e porcentagens dos desvios dimensionais entre -1 e +1mm do Melão

| ID Abacate | Nota | Porcentagem de vértices entre -1 e +1 mm |
|------------|------|--|
| 01_BFJ5ME | 3.70 | 32.0 |
| 02_BGJ5ME | 4.20 | 65.0 |
| 03_BSJ5ME | 7.00 | 77.0 |
| 04_BFA3ME | 6.30 | 72.0 |
| 05_BGA3ME | 4.40 | 56.0 |
| 06_BSA3ME | 4.60 | 40.0 |
| 07_BFN5ME | 6.80 | 72.0 |
| 08_BGN5ME | 6.70 | 75.0 |
| 09_BSN5ME | 5.90 | 75.0 |
| 10_BFN PME | 5.40 | 71.0 |
| 11_BGN PME | 6.10 | 71.0 |
| 12_BSN PME | 6.80 | 76.0 |

Fonte: O autor.

A Figura 69 apresenta a síntese para o conjunto de mapas de cores resultantes do comparativo das amostras do melão, na qual é possível visualizar quatro amostras com os resultados inferiores aos aceitáveis em termos de nota e porcentagem de vértices entre os limites de tolerância.

Figura 69 - Melão



Fonte: elaborado pelo autor.

Percebe-se que os erros não estão localizados em algum ponto específico compartilhado pelo grupo de vistas apresentadas. Sua presença é constatada, por exemplo, na parte frontal de algumas amostras (01_BFJ5ME, 02_BGJ5ME e 06_BSA3ME) ou na parte superior (05_BGA3ME e 10_BFNPMPE).

Não se pode afirmar, por análise visual, que um cenário ou smartphone participou na melhoria do processo de fotogrametria, visto que as notas altas e baixas estão dispersas entre os grupos com smartphones J5 e A30s e o grupo do smartphone N5 não teve a melhor nota. Pode-se, com isso, supor que as cores claras da amostra tenham alguma influência no resultado. Assim como as cores muito escuras, como foi o caso do avocado (seção 4.3.2), aquelas muito claras, quando não associadas às texturas, mostram-se problemáticas na reconstrução de modelos.

Outro fator que talvez tenha contribuído para a má formação de parte dos objetos 3D gerados é o tamanho real maior da amostra melão, que pode ter ocasionado uma distorção na captura das imagens.

4.3.7 Análise das amostras da pera

Os dados das análises estatística e visual relacionados ao grupo amostral gerado pela pera podem ser visualizados na Tabela 8. Nota-se, nela, uma quase totalidade de valores altos para as notas e para a porcentagem de vértices entre os limites de tolerância estipulados, além das médias dos desvios dimensionais apresentarem os valores muito próximos de zero ou 0.1 milímetros, indicando uma excelente reconstrução tridimensional para os objetivos desse estudo.

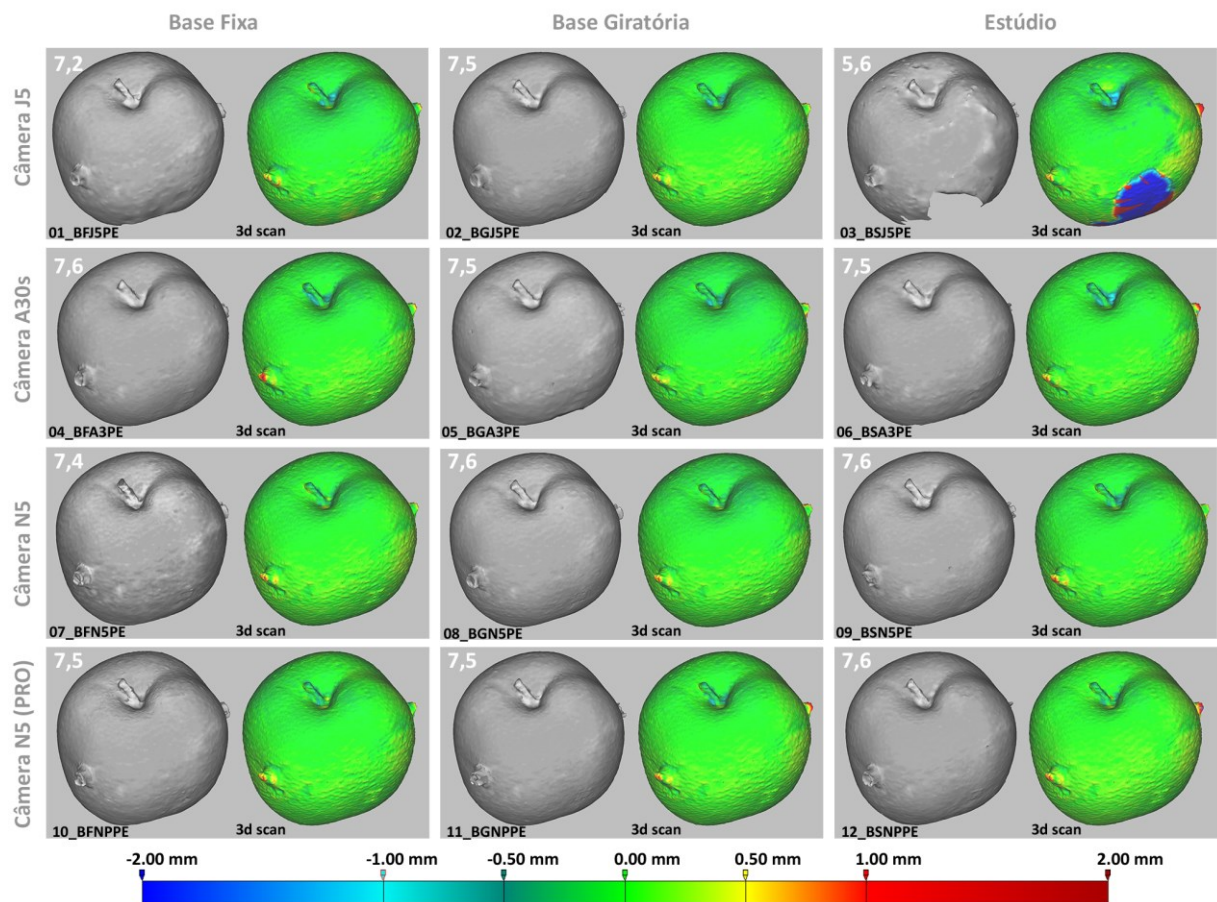
Tabela 8 - Notas e porcentagens dos desvios dimensionais entre -1 e +1mm da Pera

| ID Pera | Nota | Porcentagem de vértices entre -1 e + 1 mm |
|----------------|-------------|--|
| 01_BFJ5PE | 7.20 | 95.0 |
| 02_BGJ5PE | 7.50 | 94.0 |
| 03_BSJ5PE | 5.60 | 89.0 |
| 04_BFA3PE | 7.60 | 99.0 |
| 05_BGA3PE | 7.50 | 93.0 |
| 06_BSA3PE | 7.50 | 95.0 |
| 07_BFN5PE | 7.40 | 92.0 |
| 08_BGN5PE | 7.60 | 95.0 |
| 09_BSN5PE | 7.60 | 96.0 |
| 10_BFNPMPE | 7.50 | 95.0 |
| 11_BGNPPE | 7.50 | 95.0 |
| 12_BSNPPE | 7.60 | 96.0 |

Fonte: O autor.

Essas afirmações se refletem nos gráficos de mapa de cores dos desvios dimensionais (Figura 70), onde a predominância da cor verde, cuja presença indica uma grande aproximação entre os vértices das amostras e os vértices do objeto padrão, faz deste grupo de amostras aquela com a melhor média de notas entre os modelos resultantes.

Figura 70 – Pera



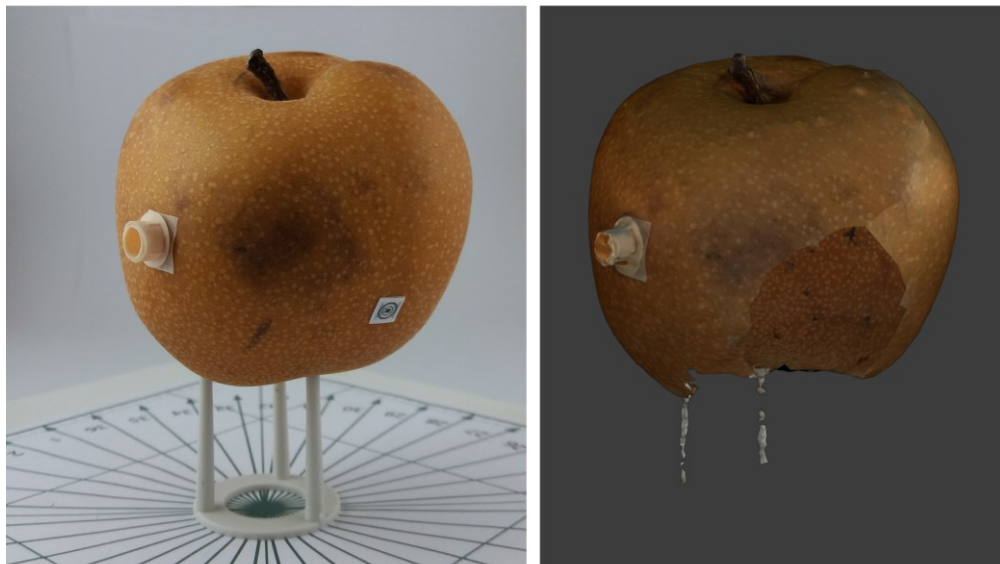
Fonte: elaborado pelo autor.

A pera foi o objeto ideal para a percepção sobre a questão da textura na superfície, pois suas cores, um pouco escuras, sua superfície fosca e seu padrão de textura, com pontos claros e relativamente homogêneos nos indica a configuração entre cor, textura e acabamento que resultou em melhores modelos 3D.

O resultado que gerou os maiores erros e a avaliação mais baixa pode ser visualizado no canto superior direito, na Figura 70, que representa o resultado do processamento das fotos

do modelo de smartphone J5 em mini estúdio. Mesmo assim, sua classificação ficou acima do aceitável.

Figura 71 - Pera



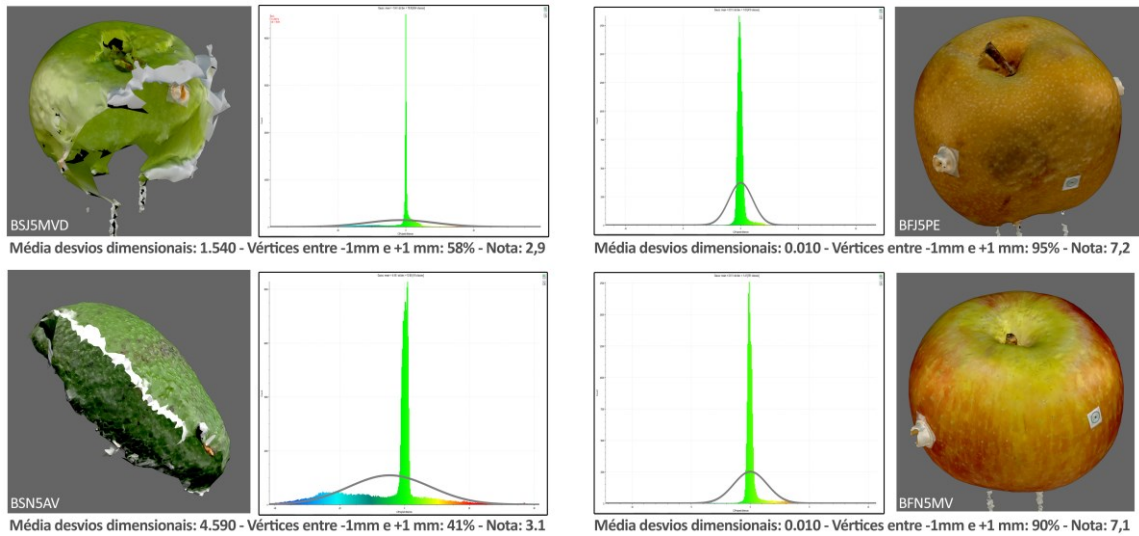
Fonte: elaborado pelo autor.

A nota menor está relacionada a uma região específica que não se formou na imagem final, conforme aponta a Figura 71. Esse erro ocasionou um valor alto nos desvios dimensionais, ainda que quase 90% de seus vértices estejam dentro dos limites de tolerância de 1 milímetro.

4.3.7 Análises complementares das amostras

Nesta seção estão apresentadas as análises complementares sobre os resultados dos comparativos estruturais, trazendo informações sobre alguns dos modelos e sobre os impactos relacionados aos tipos de cenários, smartphones e câmeras. A figura 72 apresenta um conjunto de gráficos que comparam dois dos piores (objetos apresentados à esquerda) e dois dos melhores (objetos apresentados à direita) modelos gerados, os quais correspondem às quatro curvas de distribuição normal dos histogramas do mapa de cores.

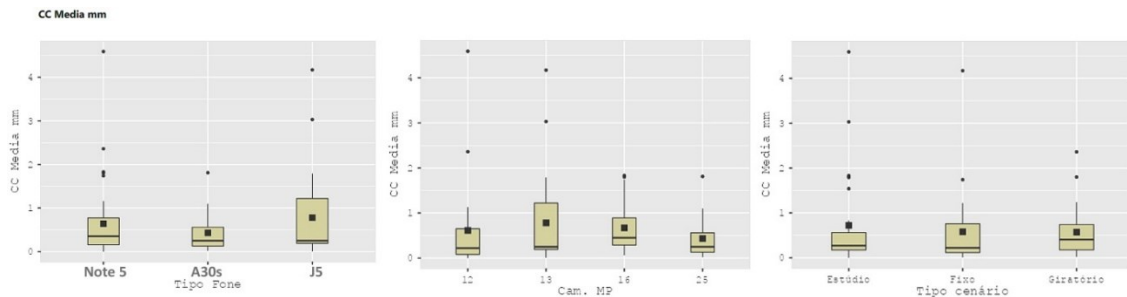
Figura 72 - Amostras dos gráficos de alguns dos piores e melhores resultados



É perceptível o espalhamento das cores e o achatamento nas curvas relacionados aos modelos com pior construção 3D, à medida em que, nos gráficos dos objetos com melhor construção dimensional, a curva tende a se elevar juntamente com o agrupamento dos blocos de cor verde ao centro do gráfico, onde se encontra o valor para desvio nulo. Isso se justifica pelo maior desvio, em relação à média, nos casos de construção ruim.

A Figura 73 ilustra graficamente como é a dispersão média dos dados estruturais para todos os grupos de frutas, em função do tipo de cenário, do modelo de smartphone e da resolução da câmera¹⁰. Quanto maior a proximidade dos valores referentes à média e à mediana, de zero, menor é o erro dimensional.

Figura 73 - Gráficos Bloxplot das médias dos desvios entre as variáveis tipo de smartphone e cenário



Fonte: elaborado pelo autor com auxílio dos softwares Jamovi e Past.

¹⁰ Após os testes de Kruskal-Wallis, aceitou-se a hipótese nula (H_0), indicando não haver diferença entre os grupos.

No primeiro agrupamento, relacionado ao tipo de smartphone, é possível perceber que o modelo mais novo de dispositivo (A30s) está associado à melhor qualidade da malha. A quantidade de 25 megapixels, no último gráfico do segundo agrupamento, apresenta vantagem em relação às demais tanto pelo fato da média e da mediana se aproximarem bastante de zero quanto pela dispersão ser a menor dentre as quatro analisadas, somando-se a isso a existência de apenas um outlier. Utilizando os dados da análise de tempo, se percebe um indício na relação entre qualidade e eficiência do smartphone modelo A30s no processo de fotogrametria de baixo custo, pois apresentou os melhores resultados na qualidade da malha e na redução dos tempos de processamento, porém, os testes estatísticos nos permitem afirmar que é possível utilizar qualquer um dos modelos de smartphone e cenários para a obtenção de modelos com qualidade estrutural adequada.

Com referência aos três cenários, tanto médias quanto medianas estão bem próximas ao valor nulo, porém com diversos *outliers* na opção estúdio, que acabou sendo aquela com a menor variação de amplitude na caixa. Visualmente, as bases giratória e fixa não parecem apresentar diferença significativa.

4.4 AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CUSTO

Ao final da seção anterior, uma visão geral dos resultados relacionados aos três cenários testados foi apresentada. Outras variáveis, contudo, merecem receber um olhar mais apurado, então, a seguir, serão descritas estatísticas relacionadas aos tempos de tomada de fotos na totalidade das amostras e para cada grupo de frutas. Algumas considerações sobre o uso e operação dos três tipos de cenário integram esta seção, com o objetivo de orientar possíveis usos futuros.

4.4.1 Avaliação dos cenários

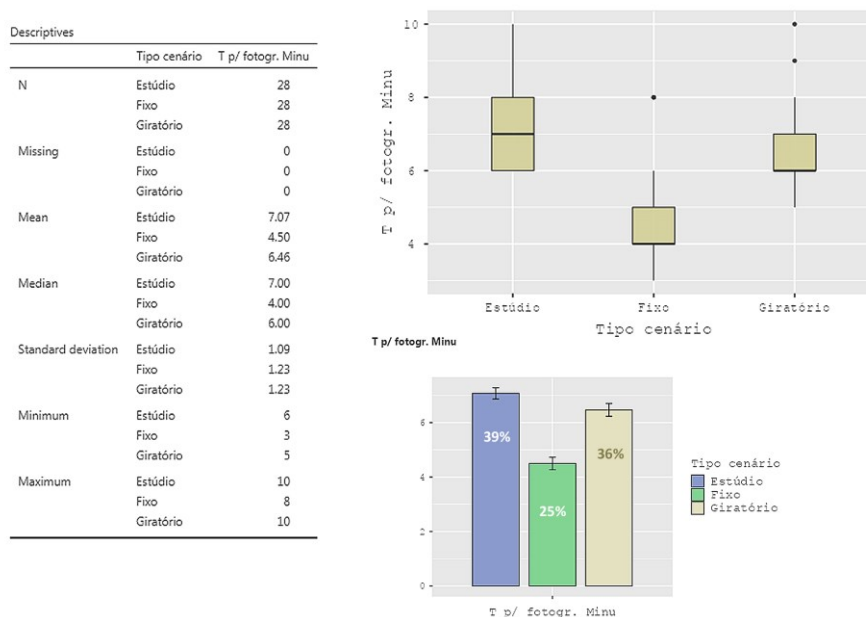
Os modos automáticos com controle remoto de disparo (botão do fone de ouvido) foram os mais adequados e a posição sentada com base giratória aparentou ser a mais prática, segura e confortável.

A utilização de tripé foi fundamental nos cenários de base giratória, pois manteve o smartphone fixo, permitindo maior controle nos ângulos e alturas. A base giratória

proporcionou um melhor controle, tanto na tomada de fotos quanto na mudança de ângulos da base e do tripé.

As tomadas das fotos foram mais rápidas no cenário de base fixa, conforme ilustram os gráficos de tempo para fotografar em cada cenário¹¹, apresentados na Figura 74. Isso mostra que se o fator de decisão for o tempo para tomada das fotografias, o uso do cenário de base fixa reduz o tempo para fotografar e, aliado a simplicidade de configuração, pode ser muito eficiente na coleta das imagens.

Figura 74 - Gráficos das médias dos tempos para tomada das fotos com cada cenário



Fonte: elaborado pelo autor com auxílio dos softwares Jamovi e Past.

Os elementos dessa figura indicam que o maior tempo demandado para obter as fotos foi no cenário de mini estúdio (barra azul), sem considerar o tempo razoavelmente maior para montar e configurar as estruturas, a fim de viabilizar o uso nesta disposição. Foi preciso maior cuidado para não colidir com tais estruturas e não prejudicar os alinhamentos, pois o espaço reduzido proporcionado por esta configuração afetou os movimentos, além de ser intensificado pelas amostras de maior dimensão. Um fator que pode ter influenciado também nesse aspecto é o cuidado extra na rotação da base, para que não ocorresse o deslocamento da amostra, fato que pode ser confirmado pelo segundo maior tempo ser aquele do cenário de base giratória.

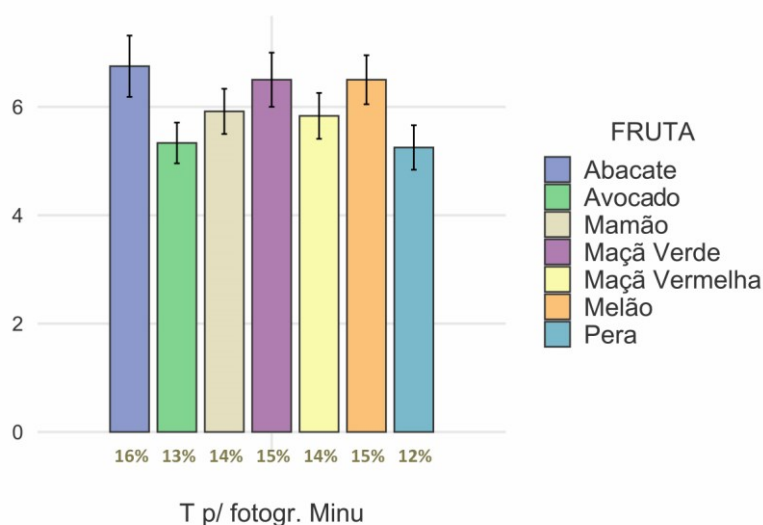
¹¹ Nos testes de Kruskal-Wallis, rejeitou-se a hipótese nula (H_0 indicava que o tempo para fotografar é igual entre os grupos), pois houve diferença entre os grupos ($p < .001$) e, no *pós hoc*, identificou-se que houve diferença entre o tempo dos grupos comparados, exceto entre os cenários Estúdio e Giratório. O cenário de base fixa apresentou um tempo médio estatisticamente menor que os demais para a obtenção de fotografias.

O cenário de base fixa foi o que demandou maior espaço de utilização, ainda que seja mais simples para o posicionamento do objeto de interesse. Para algumas amostras consecutivas, o método em pé com base fixa pode ser o mais viável, porém oferece menos controle e a sensação de desconforto, dependendo do tempo em que é utilizado.

Nas amostras de maior volume, a base giratória foi substituída por um anel de tecido elástico com o intuito de estabilizar a fruta na operação da base giratória. Para manter esse padrão, o procedimento foi repetido em base fixa.

A Figura 75 apresenta o gráfico para a média de tempo demandado na obtenção das imagens de cada fruta e pode-se perceber uma porcentagem ligeiramente maior para as amostras de maior volume e instabilidade (abacate, mamão e melão)¹². Entre todas as amostras, essas diferenças não foram estatisticamente significativas, o que nos permite afirmar que o tamanho das frutas não influencia no tempo para a tomada de fotos.

Figura 75 - Gráficos das médias dos tempos para fotografar cada grupo de frutas

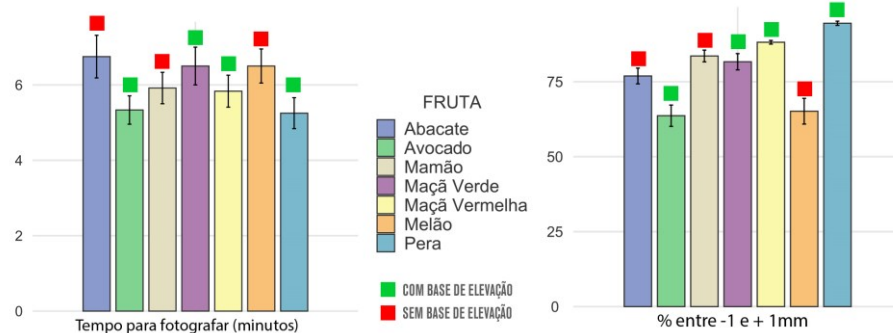


Fonte: elaborado pelo autor com auxílio dos softwares Jamovi e Past.

Outro fator importante, quando se observa o gráfico das médias de tempo e das médias de porcentagens entre -1 e + 1 mm das amostras (Figura 76), é a menor qualidade relacionada ao uso da base de elevação, efetuado nas amostras que apresentaram melhores resultados.

¹² Após os testes de Kruskal-Wallis, aceitou-se a hipótese nula (H_0), indicando não haver diferença entre os grupos.

Figura 76 - Gráficos das médias dos tempos e qualidade estrutural (% entre -1 e + 1mm) para fotografar cada grupo de frutas

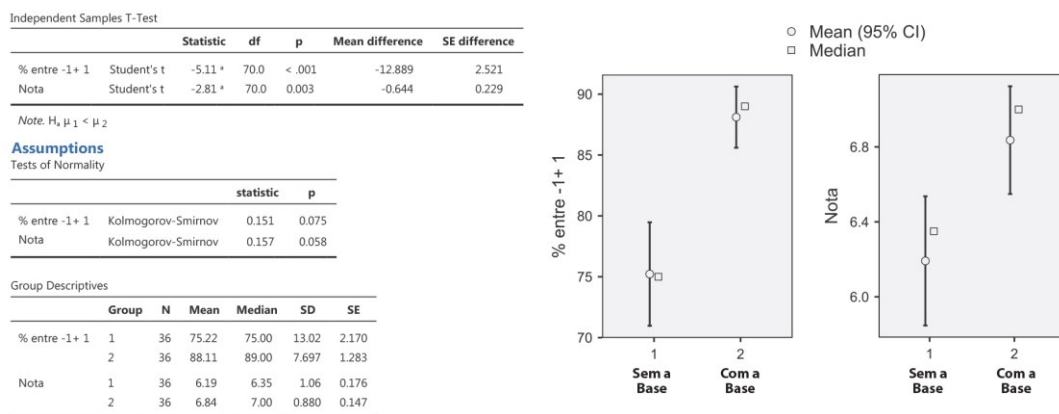


Fonte: elaborado pelo autor com auxílio dos softwares Jamovi e Past.

A maior parte dos grupos que utilizaram a base (quadrados verdes, com exceção do grupo do avocado) tem uma relação entre a redução do tempo de tomada das fotos e o aumento da qualidade estrutural gerada.

Para confirmar a hipótese de que o uso da base de elevação melhora a qualidade estrutural das amostras, executou-se um teste t-Student¹³ para comparar as médias de duas amostras independentes que utilizaram, ou não, a base de elevação, tendo como a variável dependente a qualidade estrutural (% de vértices entre -1 e +1 mm), conforme a Figura 77.

Figura 77 - Gráficos dos resultados do teste t-Student para as amostras independentes com e sem a base de elevação



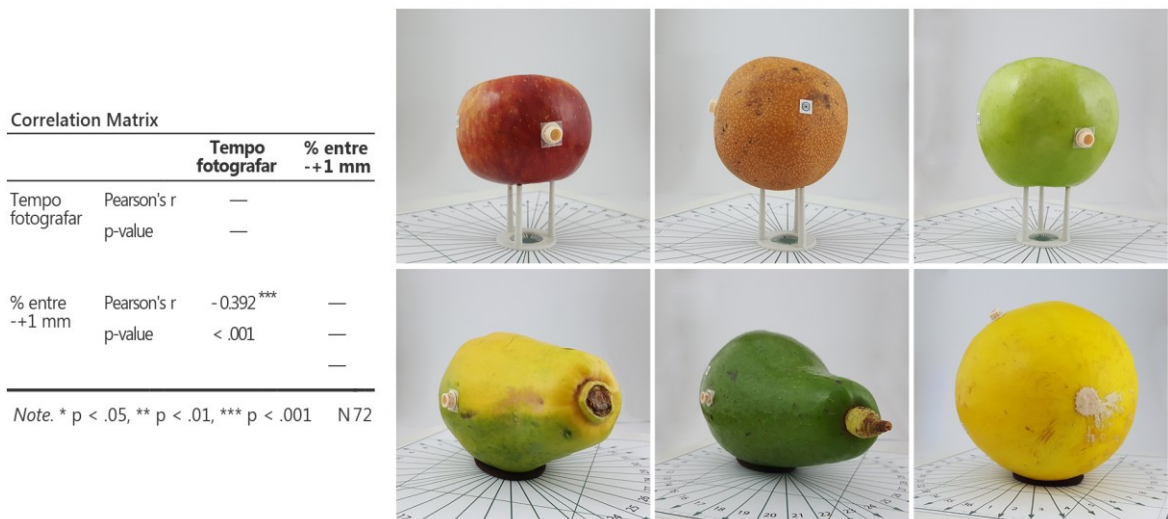
Fonte: elaborado pelo autor com auxílio dos softwares Jamovi e Past.

¹³ O teste de Kolmogorov-Smirnov verificou que os dados apresentam distribuição normal.

Conforme pode ser visto na Figura 77, os testes t-Student indicam que as médias das variáveis de qualidade estrutural são estatisticamente maiores nas amostras geradas por base de elevação e apresentam significâncias $p < 0.001$ e $p = 0,003$, respectivamente, para a variável % entre -1+1 e Nota. Isso nos permite afirmar que o uso de dispositivo de elevação pode aumentar a qualidade estrutural dos objetos gerados, devido à capacidade de minimizar a oclusão de contato com a base.

Outro aspecto avaliado diz respeito às amostras com maior volume e cuja instabilidade influenciou na mudança do apoio de elevação, aumentando a oclusão e a consequente redução na qualidade dos objetos gerados. Pode-se observar, na Figura 78, o coeficiente de correlação entre o tempo para fotografar e a porcentagem de elementos dentro dos limites de tolerância, a partir de diferentes frutas nas bases de apoio.

Figura 78 - Matriz de correlação e exemplos das bases de apoio em plástico e anel de tecido elástico



Fonte: elaborado pelo autor com auxílio dos softwares Jamovi e Past.

O coeficiente $r = -0,392$ de Pearson, indica uma correlação estatisticamente significativa ($p < 0,001$), de natureza inversa e de intensidade fraco-moderada.

A maioria das amostras com maior volume e instabilidade no manuseio (mamão, melão e abacate), e que utilizaram o anel, apresentou uma média de 6,4 minutos para tomada das fotos, tendo 75% de qualidade estrutural (tolerância entre -1mm e +1mm), enquanto o grupo que utilizou a base plástica (maçã verde, maçã vermelha e pera) levou, em média, 5,9 minutos para ser fotografado, tendo sua estrutura, em média, 88% dentro da mesma faixa de tolerância.

Devido ao grande volume de fotos geradas pelas diferentes combinações entre cenários e smartphones, foi preciso um cuidado com relação ao tempo desta atividade e a variação da iluminação natural oriunda da janela, devido ao período dos experimentos que ocorreram no início do dia, por volta das 8h e duraram até às 16h.

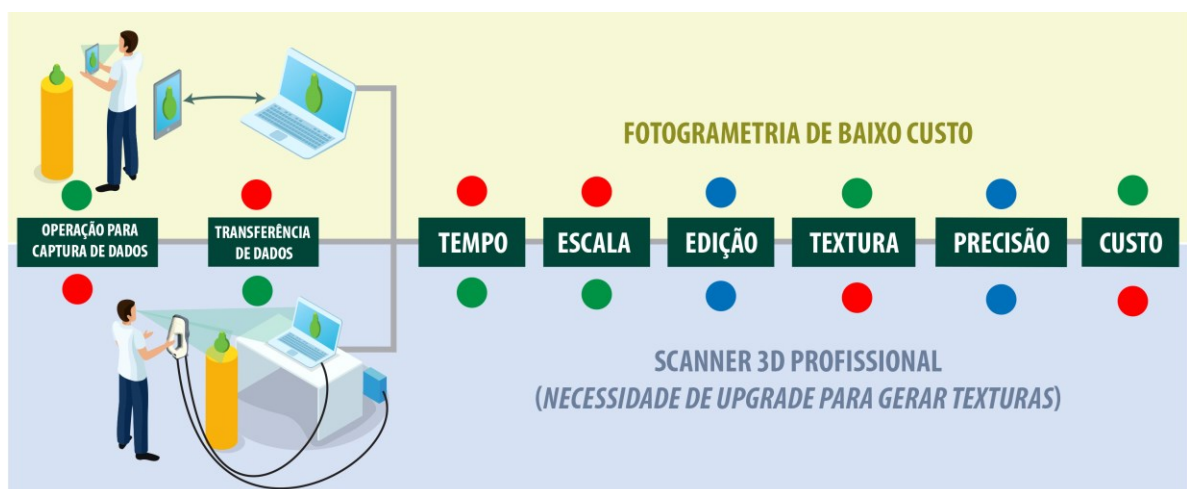
Além da questão da iluminação, alguns alimentos começaram a entrar em processo visível de deterioração natural e por manuseio, alterando a forma e cor, o que ocorreu de forma mais acentuada no mamão.

4.5 COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE DIGITALIZAÇÃO DE ALTO E BAIXO CUSTO

Os estudos revelaram, até aqui, que a fotogrametria de baixo custo é capaz de gerar modelos 3D com qualidade estrutural equiparável ao escâner profissional utilizado neste comparativo, pois, das 84 amostras geradas e comparadas com o padrão gerado pelo escâner Artec (conforme resultados descritos de 4.3.1 a 4.3.7), apenas dez amostras não apresentaram a nota mínima aceitável de 4,7 (o que indica 88% de bons resultados).

A Figura 79 mostra o fluxograma dos pontos operacionais levantados e que estão relacionados com a digitalização, que poderá ser efetuada, por exemplo, para um projeto de embalagens. No comparativo, os círculos em vermelho representam fragilidades do método, em relação ao outro; os verdes representam as potencialidades; e aqueles em azul indicam equivalência na avaliação.

Figura 79 - Fluxograma comparativo com os pontos fortes e fracos de cada método de digitalização 3D

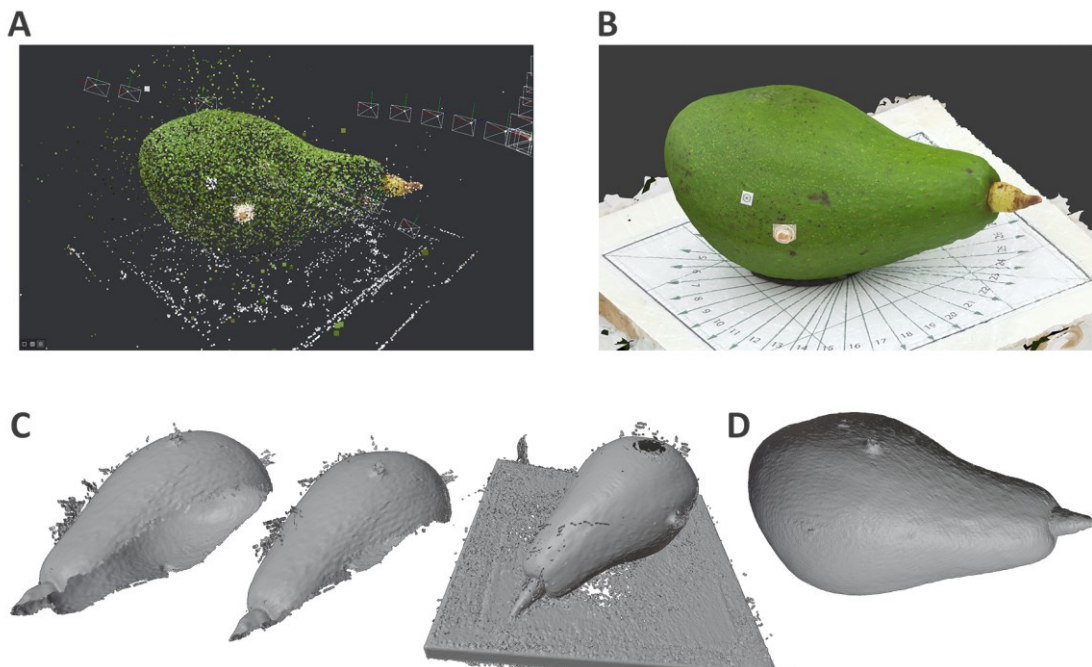


Fonte: elaborado pelo autor.

Os principais pontos levantados a favor da digitalização de baixo custo são a facilidade de operação e o custo muito baixo, sendo acessível a qualquer pessoa que possua um smartphone e um computador relativamente potente. A textura também é muito importante e, neste comparativo, o escâner profissional não se mostrou adaptado a tal característica, que, para ser implementada, exigiria dobrar o custo do equipamento. Como pontos negativos, estão o tempo alto de processamento e a transferência de dados, que depende de compatibilidade entre os sistemas operacionais do smartphone e do PC.

Outra desvantagem no método de baixo custo comparado ao scanner é a impossibilidade de visualização do modelo final, podendo ser visualizado uma nuvem de pontos (Figura 80-A) em uma etapa intermediária de processamento antes da conclusão do da geração do objeto 3D texturizado (Figura 80-B), que pode levar horas. Ao contrário o escâner de alto custo apresenta *feedback* em tempo real, enquanto a malha é gerada, acumulando as geometrias em camadas, que são, em seguida, editadas manualmente, filtradas e combinadas pelo processo Fusion (Figura 80-C) , no aplicativo do scanner Artec, gerando o modelo final (Figura 80-D).

Figura 80 - Fluxograma comparativo de geração de malhas entre os métodos



Fonte: elaborado pelo autor.

O sistema de alto custo Artec se destaca pela rapidez com que os dados são coletados e a presença do fator de escala, que facilita o dimensionamento dos objetos 3D gerados. Um

ponto negativo na operação do equipamento está na necessidade de fios para transferência de dados e de energia, o que pode dificultar o manuseio em espaços reduzidos ou para operadores inexperientes.

A usabilidade também é prejudicada no scanner de alto custo pela necessidade de se visualizar a tela do computador ao mesmo tempo em que se aponta o escâner para a amostra. Já no sistema por fotogrametria de baixo custo o procedimento de captura é realizado pelo método tradicional de fotografia com uma boa visualização na tela do smartphone.

Um benefício no processo de baixo custo é a possibilidade de distribuir os conjuntos de fotos de outras amostras entre outros computadores o que diminui o tempo para a obtenção dos modelos 3D.

Para complementar o comparativo, foram listadas e confrontadas as características mais relevantes encontradas nos dois métodos e que possibilitaram tecer as considerações sobre a viabilidade na utilização de um método de baixo custo em relação ao método de valor elevado, podendo ser visualizadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Comparativo entre as principais características dos métodos de digitalização de alto e baixo custo

| Características | Artec EVA Lite | Fotogrametria |
|--|---|---|
| Custo Equipamento | R\$ 50.000,00 + R\$ 81.200,00 (com textura): total 131.000,00 R\$ | Celular A30s R\$ 1.500,00 |
| Custo PC | R\$ 10.000,00 | R\$ 10.000,00 |
| Custo software digitalização | Incluído no valor de compra | Open Source |
| Precisão | 0,10mm | 0,05mm |
| Fator de escala | Automático | Necessita ajuste manual |
| Tempo médio de processamento | Tempo real: média de 5 minutos | 118,9 minutos em média, sem possibilidade de feedback em tempo real |
| Tempo médio de operação do equipamento | 2 a 5 minutos de manuseio do escâner | 5 minutos para coleta das fotos utilizando o smartphone |
| Ajustes pós digitalização | Por meio de software fornecido | Por meio de softwares extra open source |
| Usabilidade | Feedback em tempo real | necessária conclusão do tempo de processamento |
| Qualidade da malha gerada | Boa em todos os experimentos | Boa em 88% das amostras |
| Tamanho médio da malha gerada | 43.420KB max. 66.7MB – min. 22.7MB | 32.057KB max. 57.5MB – min. 9.9MB |
| Tamanho médio da Textura gerada | Não disponível | 32.016KB max. 45.1MB – min. 19.9MB |

Fonte: O autor.

Percebeu-se, após o comparativo entre as variáveis, que a opção de baixo custo é viável e ressalta-se a qualidade da textura gerada, que possibilita ampliar algumas aplicações

no projeto de embalagens como a apresentação de mockups 3D e até a captura de medidas específicas que são auxiliadas pela presença de texturas.

É muito provável que o método de baixo custo seja viável para quando se deseja digitalizar uma quantidade amostral menor, mas isso precisa ser investigado com precisão. De qualquer modo, a amostra pode ser ampliada, caso existam mais computadores para processar os dados ou se disponha de tempo para a execução no mesmo equipamento.

Já para uma quantidade grande de amostras que necessitem de um *feedback* de reconstrução rápido, o equipamento profissional é mais adequado, principalmente em produtos que apresentem rápida deterioração. Porém isso pode ser contornado no método por fotogrametria, devido à possibilidade de se coletar as fotos sem precisar processar os dados na sequência, o que possibilita fotografar um grande número de produtos e, posteriormente, gerar os processamentos.

A aplicação do método utilizando smartphone e software livre atendeu aos objetivos da pesquisa. O smartphone Note 5 teve a média de qualidade estrutural um pouco melhor do que os outros modelos, porém o smartphone A30s (mais atual) teve um desempenho de na geração de modelos de qualidade estrutural próximo do melhor com uma média de tempo de processamento muito menor, o que o torna a escolha mais adequada para projetos com mais amostras.

O cenário de base fixa se destacou por ter a melhor média de notas relacionadas à qualidade estrutural e ao menor tempo para tomada de fotos, visto que os cenários de base giratória demandaram maior cuidado na rotação das plataformas, porém, nenhum dos métodos de cenário apresentou uma vantagem significativa em relação ao outro dentro dos parâmetros avaliados para que possa ser indicado.

Foi constatado que o método de fotogrametria por smartphone obteve vantagem no quesito custos, como já era esperado. Outra vantagem deste método, neste contexto comparativo, foi a possibilidade de se obter as texturas nos modelos finais, o que não ocorreu no escâner Artec® Eva Lite.

A presença de textura aumenta significativamente as possibilidades de análise e utilização das amostras nos projetos de Design, pois permite avaliar e coletar detalhes da superfície e aplicar o objeto de forma mais realista nas visualizações interativas. Uma característica das amostras que auxiliou no processamento das amostras foi à presença de texturização inerente à natureza das frutas, o que facilitou também a coleta de dados.

Uma deficiência da técnica em relação ao escâner utilizado no comparativo é a necessidade do cálculo do fator de escala para o correto dimensionamento dos modelos gerados por fotogrametria. Sendo necessário coletar as medidas lineares de pontos específicos, de preferência antes da tomada das fotos. O escâner profissional pode capturar objetos sem textura, além de gerar os modelos com o fator de escala correto para o uso em ambiente virtual.

Ao avaliar os parâmetros do método de baixo custo referente à resolução e a precisão, independente do smartphone ou cenário, considera-se que os resultados foram adequados, dentro dos limites de precisão definidos pelo estudo.

O instrumento desenvolvido para avaliação visual pôde ser associado às métricas e estatísticas utilizadas no comparativo e facilitou na análise e classificação dos modelos

4.6 CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES PARA O USO DO MÉTODO DE BAIXO CUSTO

Após as análises e conclusões, foi possível estruturar um quadro propositivo com as principais recomendações relacionadas à aplicação do método nas situações similares que possam ocorrer, e com o intuito de extrair os melhores resultados possíveis.

Ainda que não tenha uma participação significativa na melhora estrutural dos objetos, a utilização do cenário com mini estúdio ajuda a minimizar os reflexos e sombras geradas nas amostras (Figura 81-A), comparativamente aos objetos que foram gerados sem esse recurso (Figura 81-B).

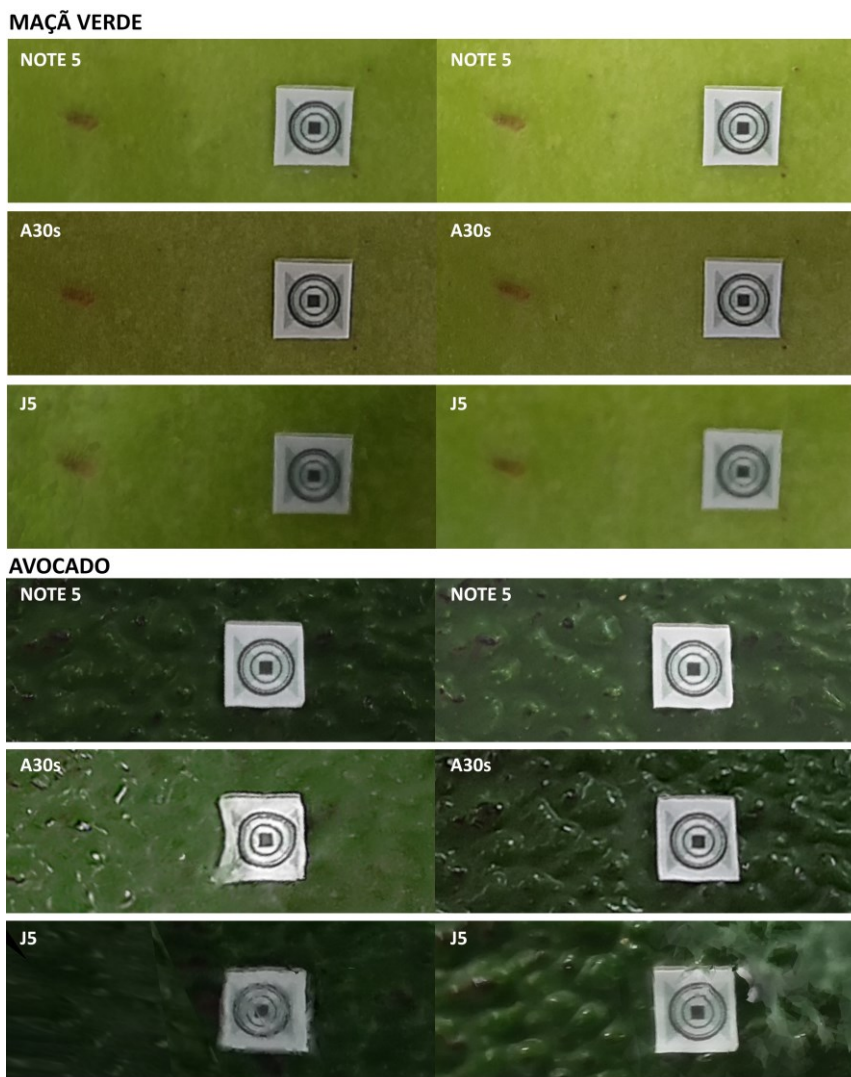
Figura 81 - Modelos gerados com diferentes definições de qualidade



Fonte: elaborado pelo autor.

Para obter uma melhor relação entre as cores geradas e a nitidez, aconselha-se a utilização de dispositivo móvel *premium* (Note 5), que apresentou melhor resultado neste quesito. A Figura (Figura 82) apresenta amostras extraídas de modelos 3d geradas pelos *smartphones* testados.

Figura 82 - Modelos gerados com diferentes definições de qualidade

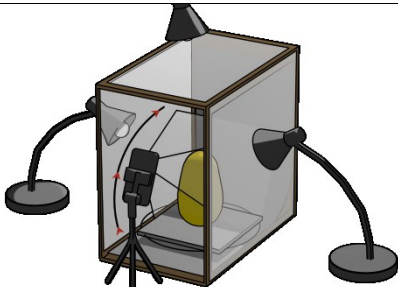

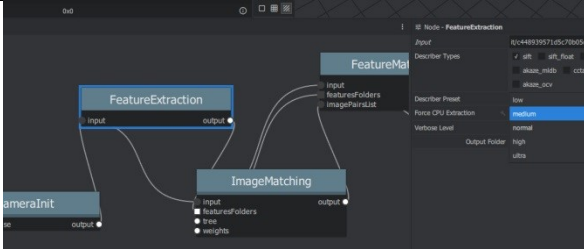




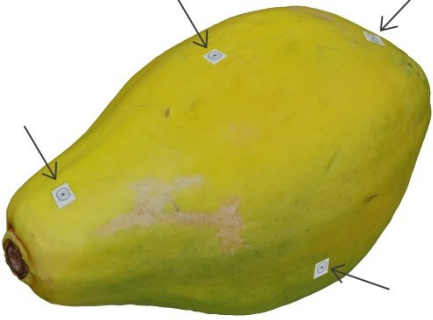
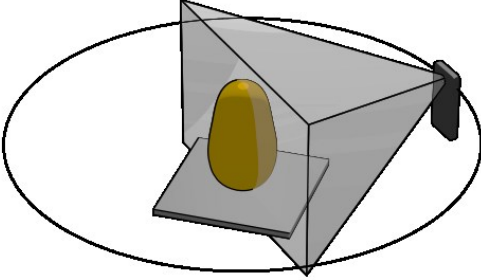

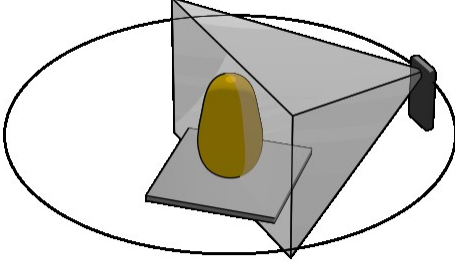

Fonte: elaborado pelo autor.


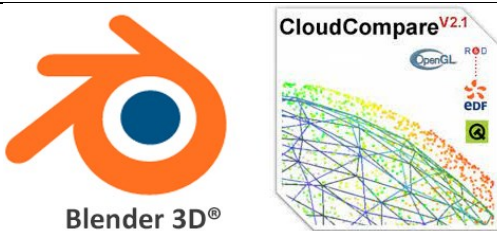
Pode-se perceber uma melhor relação entre as cores, compactação de imagem e nitidez no recorte das amostras para o *smartphone* Note 5, ainda que o A30s tenha quase o dobro de resolução, apresenta uma coloração menos próxima e com maior variação da amostra. O *smartphone* mais antigo e simples não apresenta bom resultado quando comparado ao *smartphone premium*.

O Quadro 8 apresenta a síntese com as principais recomendações de uso da técnica de baixo custo.

Quadro 8 - Recomendações para o uso do método de baixo custo

| Recomendação | Exemplos |
|--|--|
| <p>Para se obter uma textura com brilhos e sombras atenuadas, recomenda-se a utilização do cenário com mini estúdio.</p> |  |
| <p>Caso a resolução da textura seja importante, recomendam-se smartphones com câmeras de mais de 12 megapixels, que podem ser encontrada facilmente nos modelos atuais.</p> |  |
| <p>Quando o projeto priorizar a qualidade da textura e não o detalhamento estrutural, configuram-se as os parâmetros do software <i>Meshroom</i>® para redução da qualidade da malha 3D, tendo o benefício da redução dos tempos de processamento.</p> |  |
| <p>Para gerar modelos 3D com malhas mais completas, recomenda-se o uso de plataforma de elevação.</p> |  |
| <p>É possível melhorar os resultados estruturais de objetos que tenham pouca textura, por meio da aplicação de padrões aleatórios de texturização com caneta hidrográfica ou outro método de baixo custo como borrifar tinta ou polvilhar pó.</p> |  |

| | |
|---|--|
| <p>Recomenda-se fortemente a aplicação e mensuração de pequenos pontos em todos os lados da superfície da amostra antes da coleta das fotos, para auxiliar tanto no perfeito alinhamento em ambiente virtual quanto no ajuste do fator de escala.</p> |  |
| <p>Caso se necessite de maior velocidade ao fotografar, recomenda-se o uso do método de base fixa.</p> |  |
| <p>Para maior controle da sequência de imagens, os métodos de base giratória e mini estúdio, com tripé, mostram-se os mais adequados.</p> |  |
| <p>Na obtenção de frutas com dimensões maiores que 250 milímetros, recomenda-se a configuração sem o mini estúdio.</p> |  |
| <p>Pode-se reduzir o tempo de trabalho distribuindo as sequências de fotos para outros computadores com configurações compatíveis.</p> |  |

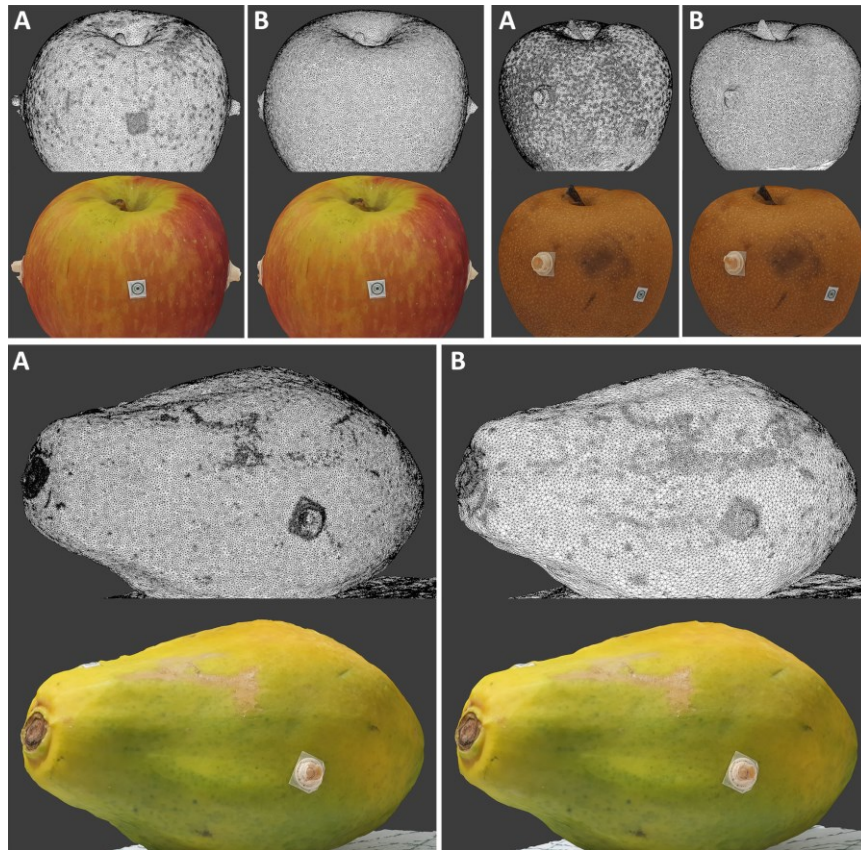
| | |
|--|--|
| <p>Também é possível reduzir os tempos de processamento quando as amostras não exigem grande qualidade estrutural, alterando o modo de qualidade no meshroom para low ou medium, porém aumentam as chances de se gerar objetos com falhas estruturais.</p> |  |
| <p>O uso de comando por voz e por fio contribui significativamente para reduzir a instabilidade na captura das imagens com a câmera fixada no tripé.</p> |  |
| <p>O uso da folha com marcações colada em uma placa é recomendado em todos os casos, para organizar e cadenciar a tomada de fotos.</p> |  |
| <p>É possível obter bons resultados com o método de base giratória. Pode-se utilizar a placa com marcações sobre uma base de confeitiro. É importante manter a amostra bem estável para que não ocorram quedas ou deslocamentos bruscos.</p> |  |
| <p>Para a edição dos arquivos 3D gerados, recomendam-se os mesmos softwares que foram utilizados nesta pesquisa: Blender® e Cloud Compare®.</p> |  |

Fonte: elaborado pelo autor.

As texturas foram o maior diferencial em relação ao método de alto custo usado para comparação neste estudo. No software Meshroom®, é possível gerar texturas de qualidade,

diminuindo a complexidade estrutural da malha 3D pelos modos low, medium, normal, high e ultra, presentes em *feature extration*, reduzindo os tempos de processamento (Figura 83).

Figura 83 - Modelos gerados com diferentes definições de qualidade



Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados gerados pelo modo medium (Figura 83-B) apresentam a qualidade idêntica de textura, por análise visual, na comparação com o modo ultra (Figura 83-A), utilizado nos experimentos.

4.7 APLICAÇÃO DE AMOSTRAS EM ESTUDOS DE DESIGN DE EMBALAGEM

Esta seção se destina a apresentar estudos de Design de embalagens que tiveram como suporte, modelos 3D digitalizados com boa precisão geométrica e obtidos a partir da proposta desta dissertação. O objetivo desses estudos foi gerar e organizar elementos que deram suporte para o complemento do fluxo sistematizado de digitalização de baixo custo (que é descrito na seção 4.8), visando o design estrutural de embalagens. Esses estudos ilustram algumas das potencialidades do uso de modelos 3D gerados por digitalização de baixo custo.

A análise da viabilidade dos modelos 3D obtidos por fotogrametria, para o Design de Embalagens, utilizou três frutas geradas para o comparativo que foram aplicadas em etapas de design

Essas etapas foram adaptadas dos estudos de Braviano e Cordeiro (2019), Mestriner (2018), Baxter (2011) e Negrão (2008), onde foram resumidas nos seguintes passos: geração de alternativas, design estrutural, simulação, detalhamento técnico e apresentação dos modelos.

O objetivo do estudo era gerar uma proposta de embalagem primária (conforme visto na seção 2.2.3) em papel e outra em plástico para cada uma das três frutas escolhidas, sendo pelo menos uma para mais de uma unidade de frutas e foi dividido em quatro fases: geração de alternativas, design estrutural, detalhamento técnico e render de apresentação, tendo como apoio os seus modelos virtuais tridimensionais.

Ao fim do processo, são tecidas considerações sobre os impactos gerados pela aplicação dos objetos 3D gerados pelo método de baixo custo no Design de Embalagens.

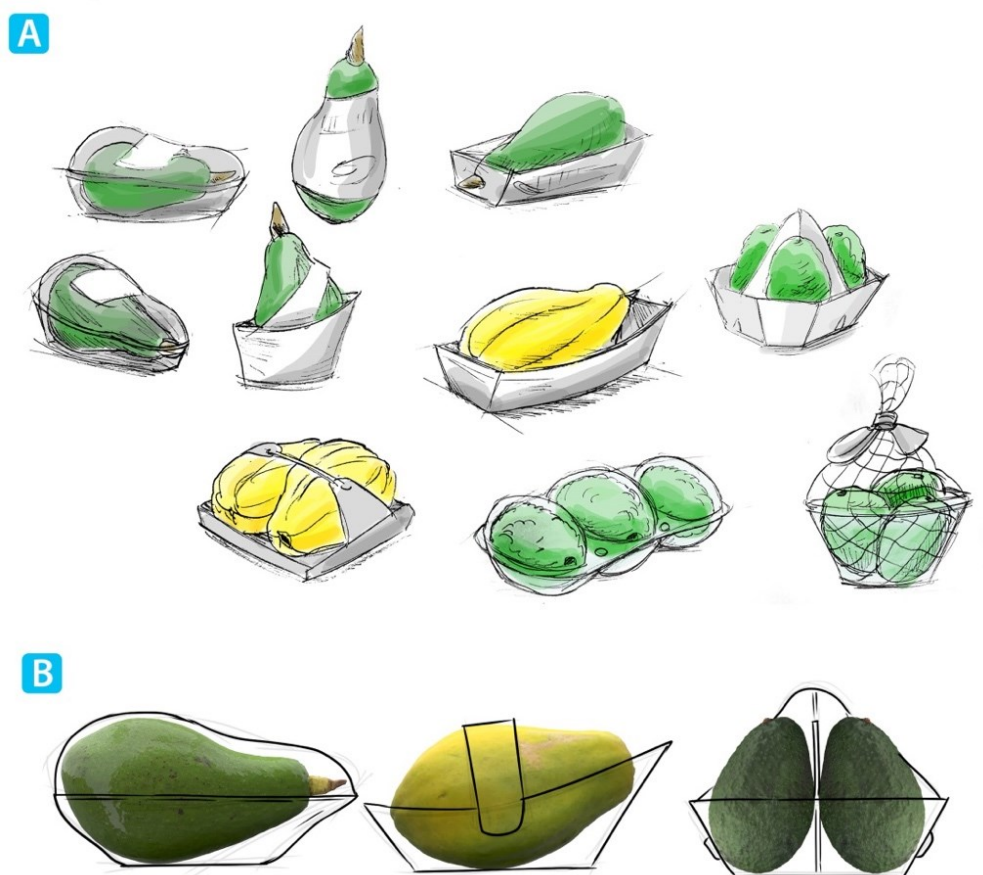
4.7.1 Geração de alternativas

Para a geração de alternativas, foram produzidos esboços e renderes manuais que representassem bem as ideias a serem estruturadas nas próximas fases.

Baxter (2011) sugere que as etapas iniciais de geração de conceitos flexibilizem as restrições geradas pelas especificações de projeto em prol da criatividade e da geração de muitas e variadas ideias. Mestriner (2002) enfatiza que é importante já se ter uma noção dos materiais e plantas técnicas para redesenho ou amostras dos concorrentes com a finalidade de minimizar alterações nas fases de layout e detalhamento executadas posteriormente.

Conforme Olofsson e Sjolen (2006), trabalhar sobre a imagem de um modelo é um meio comum de explorar as possibilidades de Design na fase de sketch. Os modelos 3D das frutas contribuíram, nessa etapa, por meio de render de algumas vistas (Figura 84-B), sendo utilizados como guia no estudo das formas das embalagens e configurações das frutas, ainda na fase de desenho conceitual, conforme exemplifica a figura 84.

Figura 84 - Amostras de render conceitual dos estudos



Fonte: elaborado pelo autor

Foram definidas seis ideias para prosseguimento dos estudos: uma bandeja de plástico para três frutas de avocado; uma bandeja para uma fruta de abacate; uma bandeja de papel para uma fruta de mamão; uma bandeja de papel para quatro frutas de avocado¹⁴ e um *sleeve* (filme plástico termo encolhível) para mamão e para abacate.

4.7.2 Estudos de Design estrutural

Após a definição dos conceitos que foram propostos na fase geração de alternativas, iniciou-se a fase de análise estrutural das opções escolhidas. Os modelos das frutas foram importados em software 3D para a análise de suas estruturas, com o intuito de desenvolver os projetos.

¹⁴ Avocado é uma variedade de abacate, geralmente menor e mais rugosa.

O primeiro estudo visou o desenvolvimento de opções para embalagem de filme plástico retrátil, conhecido como *sleeve* ou filme termo encolhível, pré-impreso.

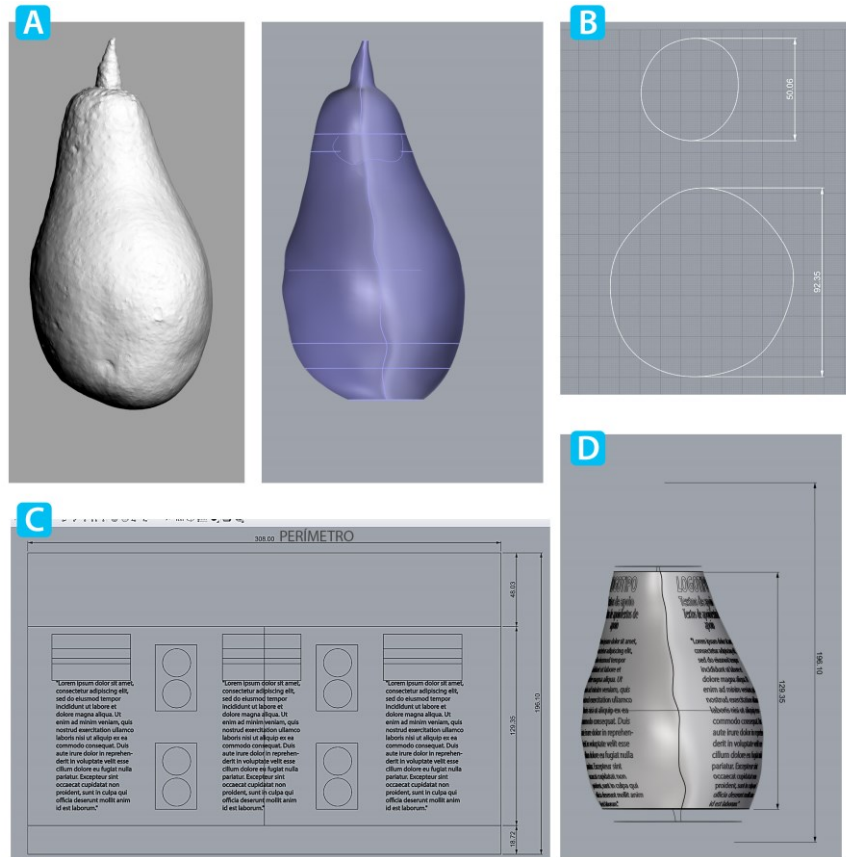
Conforme Anyadike (2010), os rótulos termo encolhíveis que envolvem o corpo da embalagem ou produto e são ideais para embalagem primária, oferecendo fechamento e um apelo visual no ponto de venda devido ao alto grau de informações possíveis em torno da embalagem, além de reduzir o peso da embalagem.

Negrão (2008) afirma que embalagens sleeves apresentam características projetuais similares as embalagens de papel, devido a sua natureza bidimensional que recebe em seguida uma transformação tridimensional por meio de montagem ou no caso do filme termo encolhível uma conformação ao redor da estrutura do produto.

Um dos efeitos dessa embalagem é o encolhimento do filme plástico, que se acomoda na superfície do produto, gerando distorções nas informações contidas no projeto gráfico, como os textos, ilustrações, fotos e símbolos. Para avaliar e corrigir essa característica, os modelos das amostras geradas foram utilizados na obtenção dos dados dimensionais e na análise das distorções em ambiente virtual.

A Figura 85 apresenta o resumo do processo de obtenção dos dados, testes, análise e ajustes e resultados alcançados. A Figura 85-A mostra o modelo importado no software Rhinoceros® 3D e, em seguida, suas formas são simplificadas, extraem-se algumas secções nas regiões entre os limites da altura que será definida para o projeto gráfico (Figura 85-B) e para estudo do perímetro. Observa-se, na Figura 85-C, a planificação do *sleeve* com os dados do perímetro e da altura, resultando na montagem de um conjunto de informações para projeção no objeto 3D. O objeto recebe a projeção que pode ser avaliada e modificada (Figura 85-D).

Figura 85 - Estudos em projeto de embalagem sleeve termo encolhível



Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 86 mostra os resultados para duas propostas de *sleeve*, desenvolvidas neste trabalho, mostrando o projeto gráfico antes e após as correções nos elementos como as fotos, textos e tabelas, que sofreram distorções na forma para compensar os desvios gerados pela projeção na superfície. Conforme Mestriner (2002) a composição final dos elementos gráficos de uma embalagem como a cor, imagens, símbolos e logotipos devem expressar os objetivos traçados desde o início do projeto e precisam ser avaliados em conjunto, tanto no layout quanto na embalagem completa e montada.

Figura 86 - Estudos em projeto de embalagem sleeve termo encolhível



Fonte: elaborado pelo autor com auxílio do Freepik

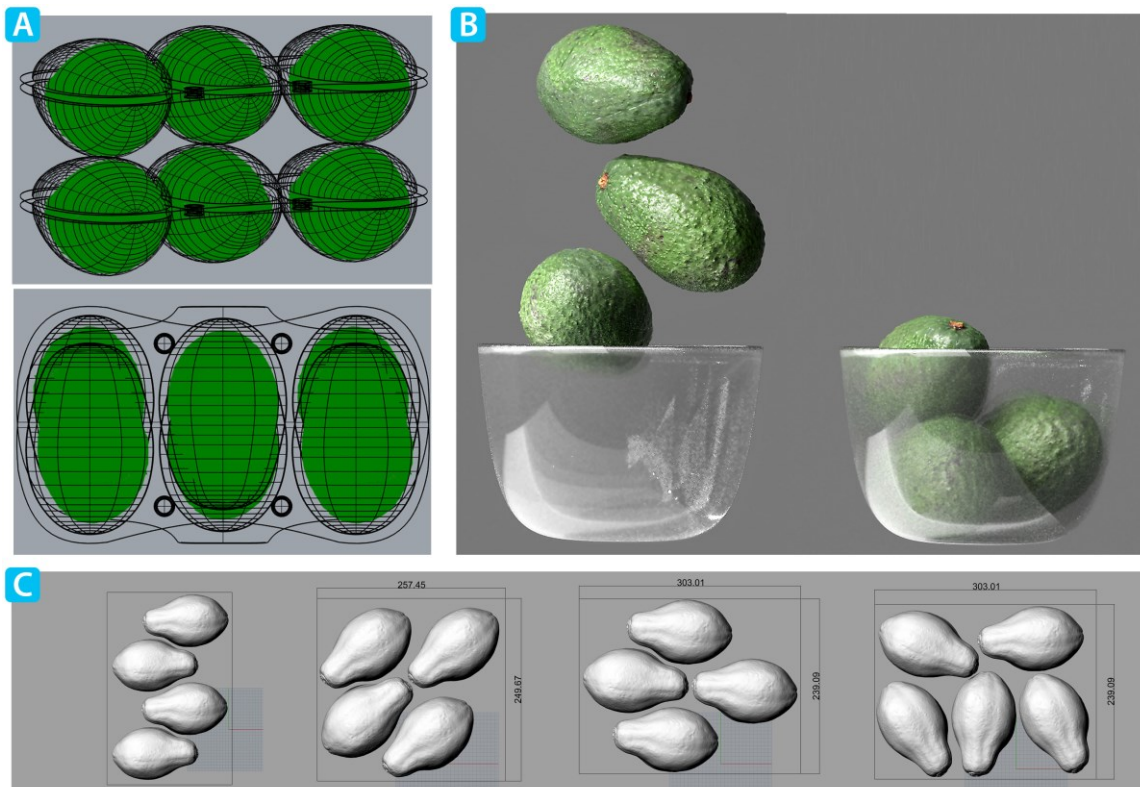
As imagens das embalagens deste e dos outros estudos podem ser visualizadas na secção 4.6.4, destinada à fase 4, que trata da apresentação das propostas.

Para Bater (2011), a geração de novos produtos deve ser baseada no seu ciclo de vida pensando nas fases de distribuição e consumo, por meio de análise de empilhamento e redução dos espaços ocupados tendo por finalidade a redução dos impactos ambientais.

O empilhamento e configuração dos produtos dentro das embalagens primárias, secundárias e terciárias, para acomodação, paletização e transporte são fatores de preocupação no projeto, envolvendo questões de logística, redução de desperdícios e emissão de poluentes e com a apresentação da marca no ponto de venda (HELLSTRÖM E OLSSON, 2017).

A Figura 87 resume o processo da segunda análise, que visou à aplicação dos objetos obtidos por fotogrametria para auxiliar nos estudos de empilhamento (Figura 87-A), simulação física em ambiente virtual (Figura 87-B), composição e aproveitamento de espaço (Figura 87-C), além de análises volumétricas e de superfícies, conforme o software que é utilizado.

Figura 87 - Estudos de configuração de espaço e simulação física



Fonte: elaborado pelo autor

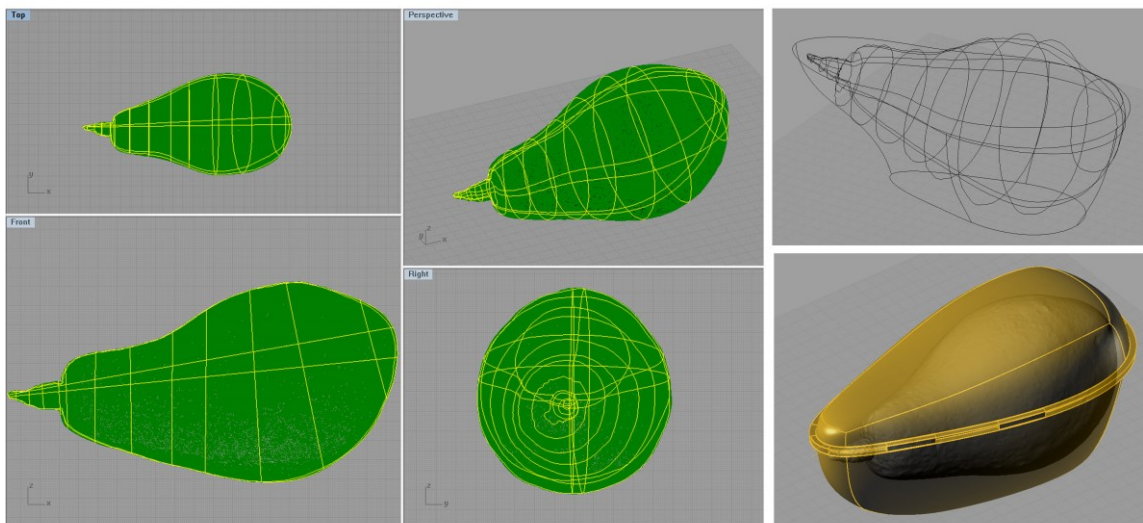
Os modelos 3D das frutas foram efetivos nos testes, mostrando uma boa construção geométrica, flexibilidade nas operações de extração de dados de volume e distâncias lineares, além da malha 3D ser leve em termos de processamento para simulações e posicionamento no espaço 3D.

Conforme Bertolini et al. (2009) os dados tridimensionais de modelos poligonais podem ser utilizados para a extração de curvas que são utilizadas como base para a criação

superfícies. Outra possibilidade é a de se modelar diretamente na estrutura do objeto produzindo curvas e superfícies que irão gerar as formas da embalagem.

Na Figura 88, estão contidas algumas imagens que ilustram passos de outra aplicação, testada no design estrutural de embalagens plásticas onde as formas dos objetos 3D das frutas serviram como base para a obtenção de segmentos de curvas e volumes, por meio de secções (Figura 88 - linhas amarelas) e modelagem ao redor de suas superfícies, facilitando também a sua operação para o design personalizado.

Figura 88 - Design estrutural para embalagem de avocado

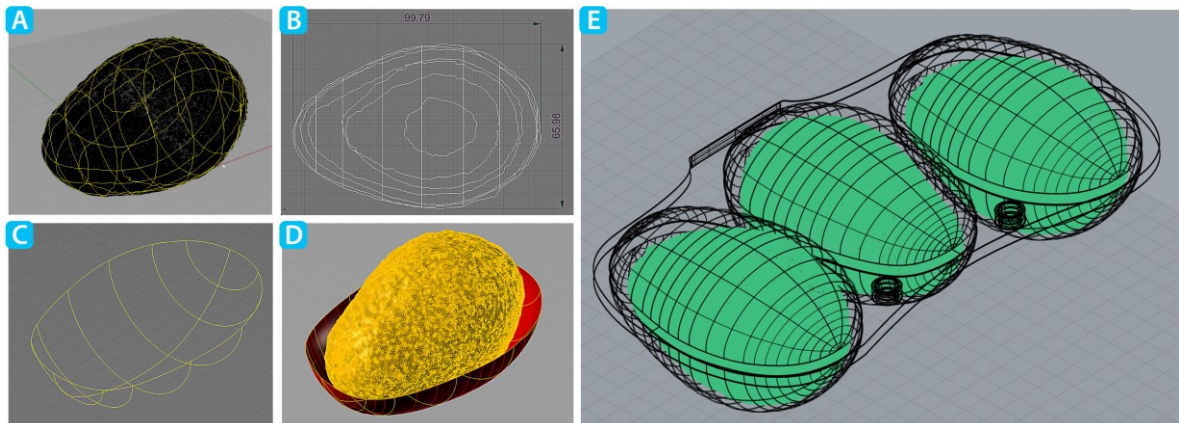


Fonte: elaborado pelo autor

Para Negrão (2008) no projeto de embalagens plásticas rígidas como os potes, é preciso conhecer os processos de produção, espessuras e a capacidade volumétrica das peças envolvidas além dos cuidados no design dos ângulos das formas da embalagem.

Uma característica positiva, que pôde ser verificada nos testes, está relacionada com a possibilidade de duplicação dos objetos, em ambiente virtual, nos estudos de design estrutural para embalagens com mais de uma fruta, onde o desempenho do sistema continuou estável mesmo com mais de três cópias dos objetos. A Figura 89 ilustra algumas etapas na obtenção de secções (Figura 89-A e B), modelagem de berço individual (Figura 89 C e D) e bandeja para três unidades finalizada (Figura 89-E).

Figura 89 - Design estrutural para embalagem do abacate



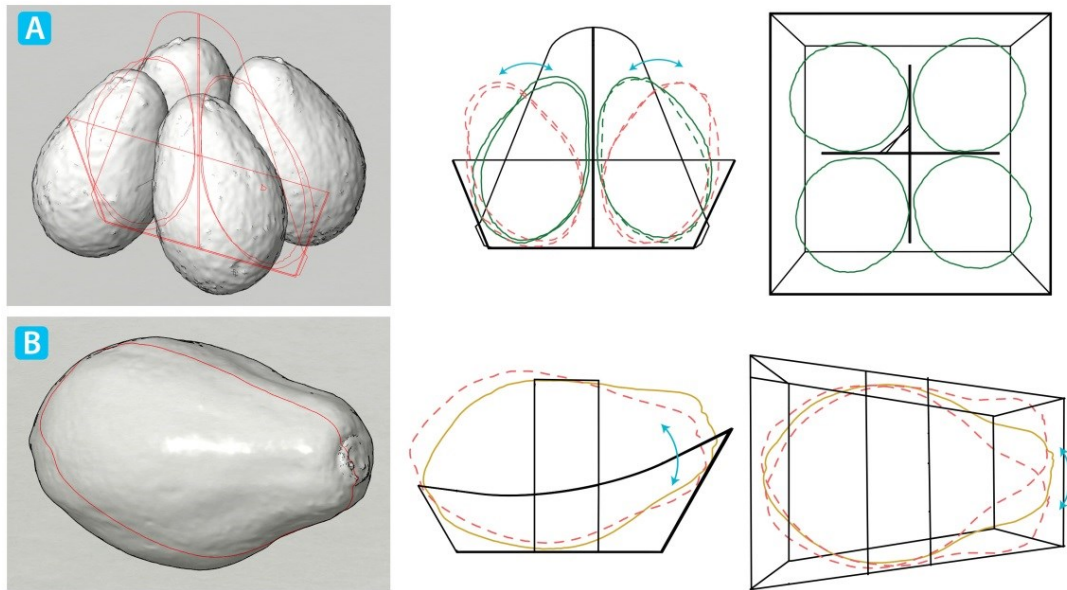
Fonte: elaborado pelo autor

Outro estudo de design estrutural foi feito para as propostas cujos conceitos sugeriam a utilização de papel cartão como material principal, sendo necessária a aplicação de modelagem básica em torno de configurações geradas por posicionamento manual e após simulações físicas.

Segundo Negrão (2008) as embalagens de papel partem de um plano bidimensional que requer uma montagem para chegar a sua estrutura final, sendo importante saber as convenções técnicas como dobra, corte, vincos e colagem, conforme visto na seção 2.2.6.

De acordo com Bertolini et al. (2009) é possível, após a modelagem da estrutura, realizar a planificação automática ou manual da mesma e gerar o desenho plano para detalhamento. A Figura 90-A mostra o modelo de embalagem com os contornos sobrepostos e, à sua direita, como esses contornos foram organizados para encontrar o posicionamento ideal na estrutura; a Figura 90-B também mostra as secções extraídas e sua utilização no auxílio da concepção estrutural.

Figura 90 - Design estrutural para embalagem de papel



Fonte: elaborado pelo autor

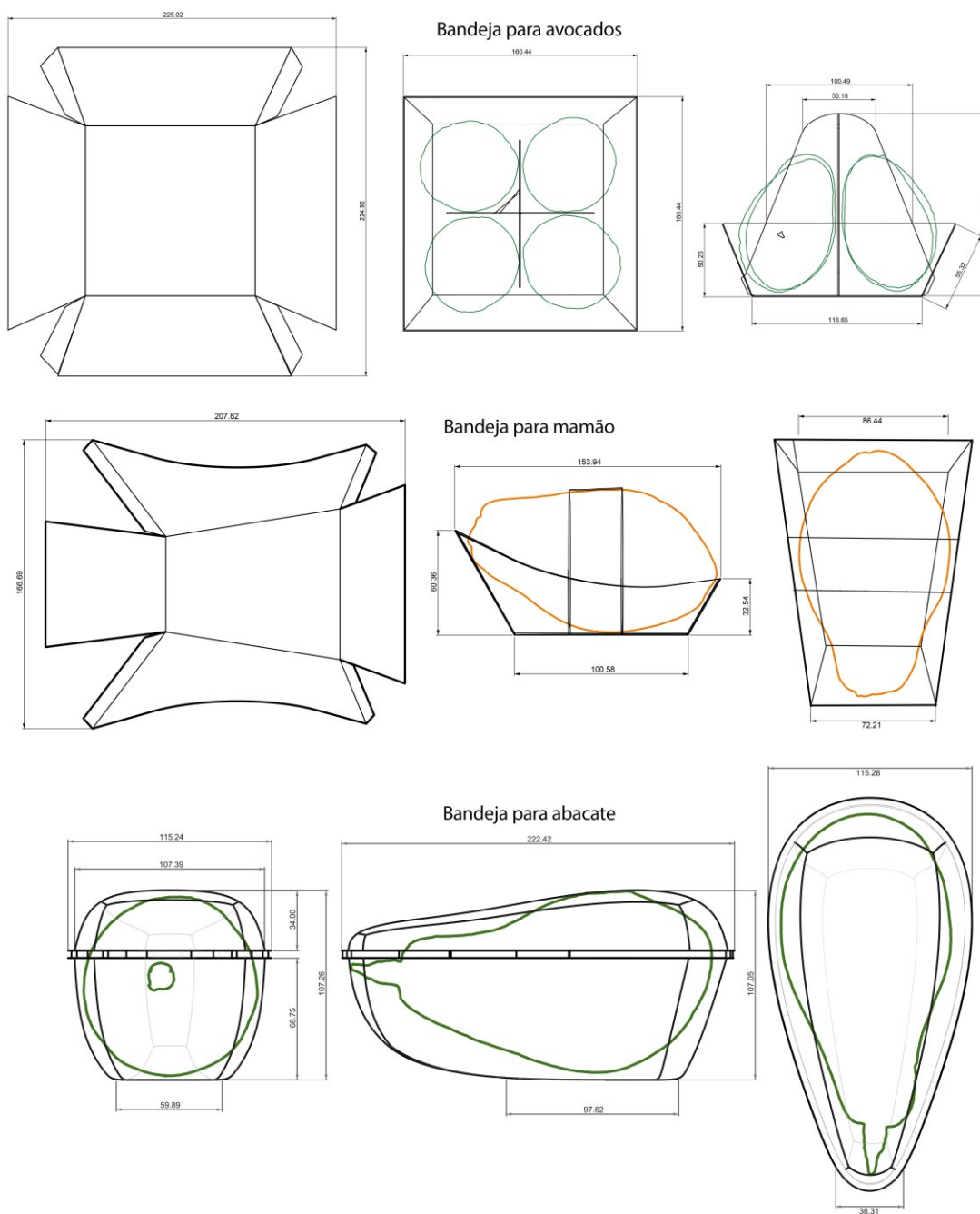
Novamente, os objetos foram organizados (setas azuis e linhas tracejadas em vermelho) para que os componentes pudessem ser estruturados conforme a concepção inicial, porém respeitando as medidas corretas geradas pela cópia digital, facilitando o processo de análise volumétrica e da forma.

4.7.3 Detalhamento técnico das propostas

Segundo Baxter (2011) o desenho técnico é o resultado físico das decisões realizadas em uma configuração de produto. Ele auxilia ao apresentar informações de como o item será estruturado e produzido, neste caso, apresentando as suas dimensões.

Após as análises e modelagens das estruturas, foi feito o detalhamento técnico onde se utilizou os contornos (coloridos) extraídos dos modelos das frutas nas vistas cotadas, contribuindo para a visualização dos detalhes de montagem, conforme mostra a Figura 91.

Figura 91 -Exemplos detalhamento técnico das propostas em papel e bandeja plástica



Fonte: elaborado pelo autor

A apresentação do desenho técnico com os contornos do produto dimensionados de forma fiel ao objeto material contribui para uma boa visualização e entendimento da proposta.

4.7.4 Apresentação das propostas

Para Mestriner (2018) a apresentação do conceito da embalagem é o ponto máximo do projeto e deve ser preparada com o máximo cuidado para que nenhum ponto do processo se perca na exposição das propostas.

Neste estudo as propostas foram consolidadas em forma de render e as frutas 3D também desempenharam um papel fundamental na qualidade da visualização, pois a forma realista da textura obtida, juntamente com as medidas de alta precisão, contribuíram para gerar imagens muito próximas do que seriam os *mockups* físicos reais. Isso se deu graças aos modelos serem baseados nos mesmos tipos e características dos produtos a serem comercializados, sem perdas de informação. Outro ponto importante é a possibilidade de utilizar os modelos em ambiente 3D interativo para apresentação, rompendo os limites da apresentação estática.

A Figura 92 apresenta os renderes para as propostas de embalagem *sleeve* onde se percebe poucas áreas de deformação, graças ao método de análise de projeção nas superfícies das frutas e da correção nas deformações encontradas.

Figura 92 - Apresentação das propostas das frutas com *sleeve* termo encolhível



Fonte: elaborado pelo autor

A segunda proposição de embalagem (Figura 93) foi estruturada com o auxílio das amostras de frutas 3D, tendo sido possível realizar o estudo das secções extraídas do objeto 3D e posicionar com facilidade os itens do conjunto, para melhor aproveitamento dos espaços.

Figura 93 - Bandeja de papel para avocado



Fonte: elaborado pelo autor

A embalagem de papel para o projeto com a fruta de mamão pôde ser adequadamente modelada graças às informações extraídas da estrutura do modelo 3D da fruta que facilitou seu posicionamento para a criação da forma curvada, além da cinta que envolve o produto (Figura 94).

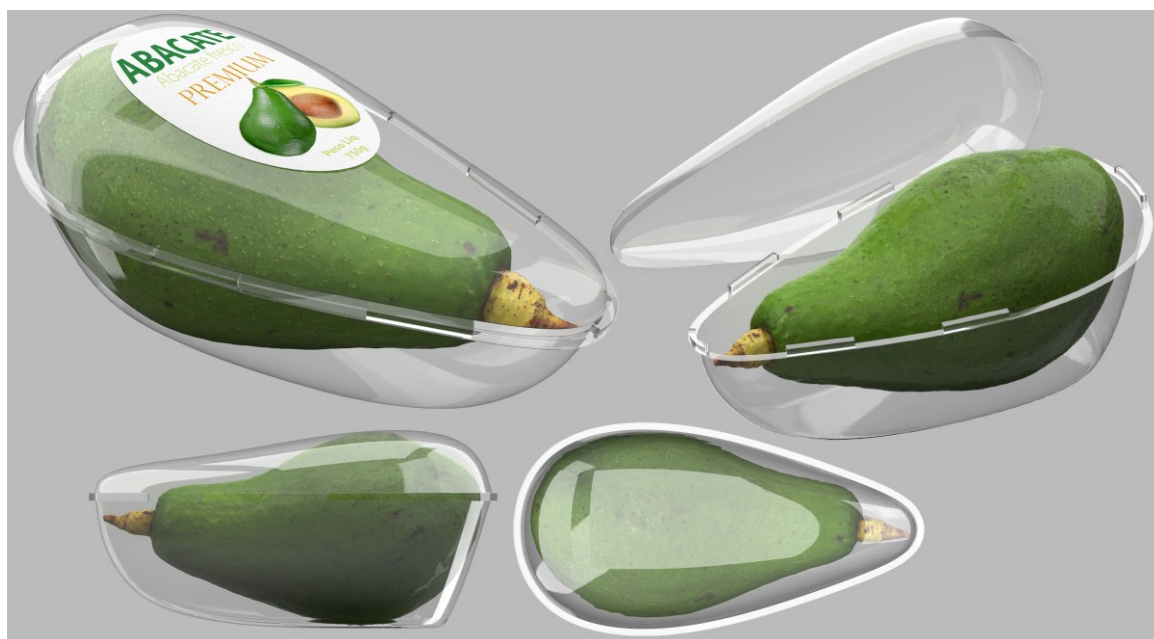
Figura 94 - Bandeja de papel para mamão



Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 95 apresenta a proposta de embalagem para o abacate, desenvolvida com características de personalização, visto que para atingir o nível de configuração formal da estrutura foi importante a presença do modelo 3D, que facilitou, por meio de secções coletadas, a modelagem ao redor da sua forma.

Figura 95 - Proposição de bandeja plástica para abacate



Fonte: elaborado pelo autor

Assim como ocorreu com a embalagem coletiva de papel, aquela de plástico para o avocado (Figura 96) também teve seu desenvolvimento facilitado pelos mesmos processos de análise que se serviram do uso dos objetos 3D das frutas. Isso se deu porque tais objetos puderam ser manipulados em um nível de personalização que permitiu inserir, com precisão, uma cinta de fechamento contendo as informações gráficas do produto.

Figura 96 - Resultado da bandeja plástica para avocado



Fonte: elaborado pelo autor com auxílio do Freepik

Os estudos de embalagem aqui realizados serviram para identificar e ilustrar as potencialidades do uso de modelos 3D gerados por digitalização de baixo custo. Os exemplos desenvolvidos destacaram como os objetos podem auxiliar em várias etapas do projeto, desde a concepção das propostas, passando pelo estudo estrutural, modelagem, prototipagem e detalhamento técnico, até a apresentação das propostas finalizadas, auxiliando na criação de soluções que exijam suporte de modelos digitalizados de relativa precisão geométrica.

Observou-se que os modelos aplicados nos estudos auxiliaram na redução dos tempos de análise, facilitando a coleta das dimensões lineares e volumétricas, permitindo uma melhor configuração das propostas conceituais. Além de facilitar na geração de alternativas, os dados coletados das malhas 3D dos modelos permitiram a extração de seções precisas, em qualquer parte de sua estrutura. Esses perfis gerados auxiliaram nos estudos formais e estruturais que serviram de base para a adaptação e modelagem de superfícies, bem como no detalhamento técnico. As texturas produzidas apresentaram resolução suficiente para a coleta de informações dimensionais e para a análise visual, contribuindo no desenvolvimento do projeto de design gráfico, ilustrações, desenho de apresentação e *rendering*.

Além de contribuir no desenvolvimento dos aspectos estruturais, ressalta-se a importante função que foi identificada relacionada à possibilidade de se analisar a cópia do objeto real em qualquer fase do projeto, revendo detalhes que poderiam ter passado

despercebidos em uma análise tradicional, cujo modelo físico não poderia ser consultado, devido à deterioração.

Uma vez identificados e organizados, os elementos que compartilham e exploram os objetos 3D gerados por digitalização de baixo custo, no contexto do Design de Embalagens, foram extraídos e contribuíram para estruturar e complementar o fluxo sistematizado, o qual tem sua proposta apresentada na próxima seção.

4.8 FLUXO SISTEMATIZADO DE DIGITALIZAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA DESIGN ESTRUTURAL DE EMBALAGENS DE ALIMENTOS FRESCOS

A partir do desenvolvimento das propostas, comparativos, análises, recomendações e aplicações, sintetizou-se um fluxo sistematizado para a digitalização de alimentos frescos utilizados em Design estrutural de embalagens.

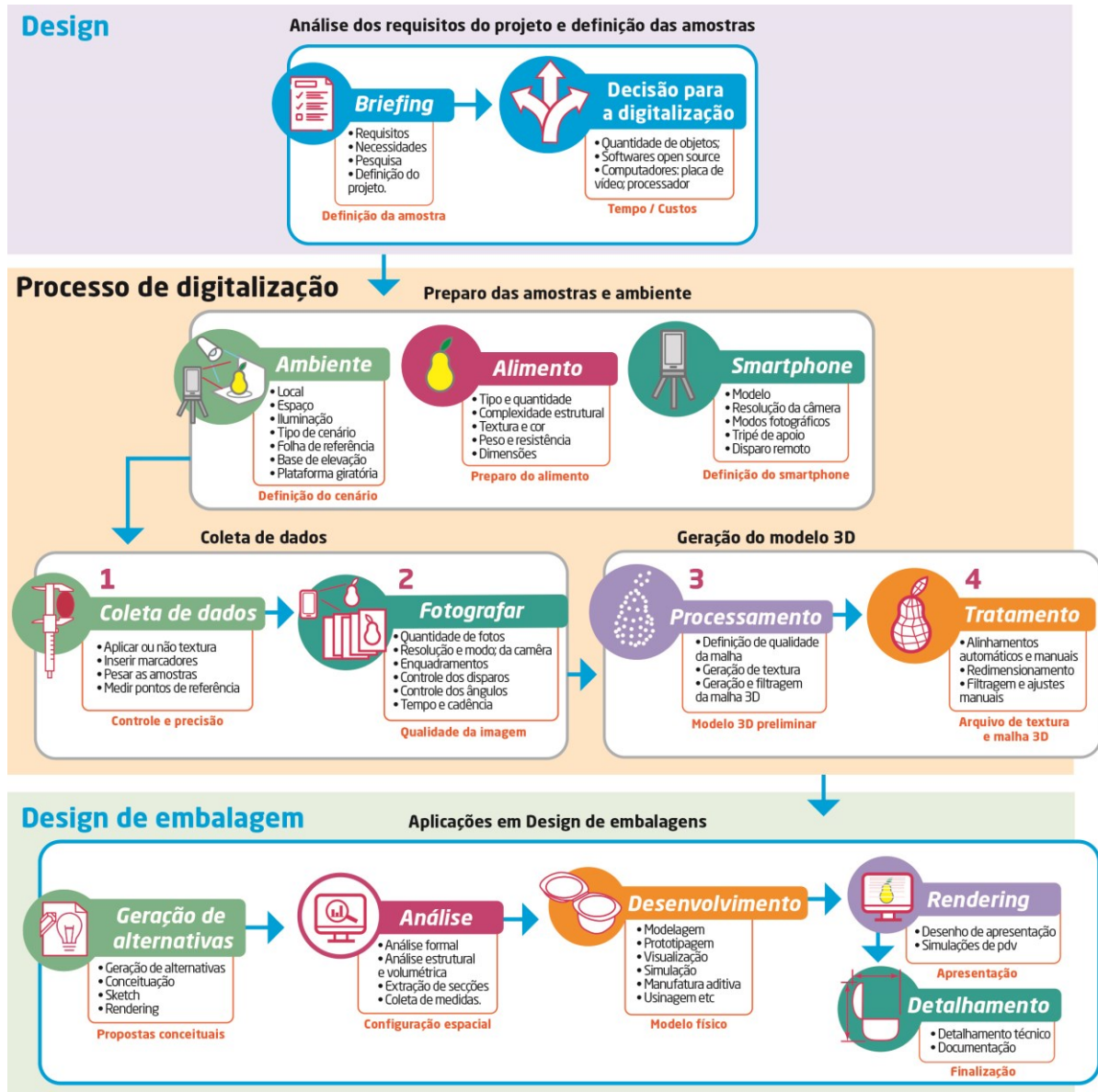
O fluxo foi elaborado considerando as etapas e processos de Design de Embalagens apresentados entre as seções 4.1 e 4.7 e os elementos foram inseridos conforme a necessidade dos projetos conceituais desenvolvidos nessa pesquisa. A presente proposta de sistematização estabelece três grandes áreas para o fluxo. Em cada um desses campos, estão organizados elementos, listados em etapas e orientados por setas azuis que direcionam para entradas e saídas de cada processo. Os números indicam a ordem que os procedimentos devem ser executados.

A primeira grande área engloba o Design e seus processos decisórios que estão intimamente relacionados com as amostras, bem como necessidades do projeto, tempo e custos de implementação.

Em seguida, encontra-se o domínio para o processo de digitalização de baixo custo, que foi o foco dessa pesquisa, e que foi subdividido em três áreas: preparo das amostras, coleta de dados e geração do modelo 3D.

O último campo é específico para o Design de Embalagens, englobando as contribuições encontradas e que vão além do Design Estrutural de Embalagens, pois indicam possíveis contribuições nas fases de geração de alternativas, análise, desenvolvimento, *rendering* e detalhamento, conforme sintetizado na figura 97.

Figura 97 – Síntese do fluxo sistematizado de digitalização de baixo custo para design estrutural de embalagens de alimentos frescos.



Fonte: elaborado pelo autor

Na etapa de Design, a partir dos requisitos do *briefing*, se decide sobre a utilização, ou não, da digitalização de baixo custo, considerando fatores como quantidade de amostras, custos, recursos de software e hardware e o tempo para a execução do projeto.

O processo de digitalização leva em consideração o ambiente, o local disponível, a iluminação e a complexidade das amostras para a escolha do cenário, além da possibilidade de um tratamento prévio para texturização das amostras e a consideração de uma base de elevação para reduzir a oclusão do objeto. Também se define o modelo do smartphone que atenda aos requisitos de qualidade e resolução de, no mínimo, 12 megapixels.

Antes da tomada de fotos, é necessária a inserção dos pontos de referência e a obtenção de suas respectivas dimensões lineares por paquímetro (com um mínimo de três pontos para coleta), além da pesagem das amostras para possíveis simulações em ambiente virtual.

Na coleta das imagens, verifica-se a quantidade ideal de fotografias, representada pela folha de marcação com os ângulos, em duas voltas e mais algumas fotos de transição entre cada passada.

Para a etapa de processamento, a utilização o software Meshroom® produziu bons resultados, tanto em usabilidade quanto em qualidade estrutural do modelo final, além de gerar textura única, consolidando um processo de simples utilização.

Após a geração do modelo, é necessário o tratamento manual dos resíduos, alinhamento e dimensionamento do objeto em ambiente virtual, sendo de fundamental importância o conhecimento prévio dos pontos de referência do modelo físico, para a geração de um modelo com medidas precisas. Essa etapa é predominantemente manual e exige conhecimento de técnicas de modelagem.

Com o modelo finalizado, é possível a sua inserção em processos de Design de embalagens em ambiente virtual, conforme aplicações apresentadas e detalhadas na seção anterior.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo objetivou sistematizar e avaliar um método de baixo custo para a digitalização 3D de alimentos frescos, no contexto do Design de Embalagens – para que sejam incorporados ao projeto desde os primeiros estágios de desenvolvimento, com o apoio de tecnologias CAD –, tendo em vista o alto custo dos métodos que facilitam a aquisição de modelos 3D usando dispositivos de escaneamento tridimensional já estabelecidos.

As pesquisas mostraram estudos sobre o uso da digitalização de baixo custo, porém fora do âmbito do Design de Embalagens ou com foco na facilitação do uso de softwares *open source* em conjunto com câmeras de smartphones. Desta forma, este trabalho se posiciona na proposta de um método de baixo custo, utilizando equipamentos atuais de informática aliados a câmeras de smartphones e softwares livres, ao propor um caminho alternativo e útil para quem desenvolve projetos de Design de Embalagens para alimentos frescos.

Para isso, foram realizados, além da pesquisa bibliográfica, estudos preliminares com vários objetos, que permitiram traçar e executar experimentos que visaram digitalizar, por baixo custo, sete frutas frescas em três diferentes tipos de cenários e smartphones, gerando 84 amostras virtuais, as quais foram comparadas estruturalmente com seus correspondentes obtidos por digitalização de alto custo.

Os dados gerados foram analisados, produzindo uma proposta de sistematização de um fluxo de digitalização de baixo custo com recomendações para que possam ser utilizado por designers na criação, geração de alternativas, design estrutural, engenharia reversa, detalhamento técnico e *rendering*.

Como resultados deste trabalho, foi possível afirmar que é possível gerar modelos com precisão e qualidade suficientes para atender as demandas do processo de design estrutural de embalagens. Observou-se que os procedimentos propostos geraram modelos tridimensionais cujos dados têm compatibilidade estrutural com os modelos de referência de alto custo, e os indicadores mostraram que não há diferença significativa em relação à qualidade média destes modelos com aqueles obtidos por meio do processo de baixo custo.

Outro fator que pôde ser avaliado foi a qualidade da apresentação dos objetos, por meio das texturas geradas, o que permite ampliar as investigações em ambiente de design, como os estudos das superfícies e no desenvolvimento de apresentações mais realistas e interativas, aproximando-se de uma visão do produto final.

Ainda que o método seja um excelente meio para a redução drástica de custo na obtenção de objetos 3D, neste caso de frutas frescas, é importante ressaltar que o procedimento tem a fragilidade de necessitar de um tempo de processamento muito superior, para gerar modelos quando há uma quantidade grande de amostras. Outro fator que não pode ser desconsiderado é a necessidade de certos conhecimentos e habilidades na edição e manuseio dos objetos 3D em softwares CAD e de modelagem, porém isso vale tanto no processo de baixo quanto no de alto custo.

A presente pesquisa pôde revisitar os conceitos clássicos do design e a questão de custos, já preocupantes nos anos 80, transitando entre Bonsiepe, nos conceitos da pós-modernidade, e novas mídias identificadas por Santaella e Manovich, além de autores consagrados no campo do Design de Embalagens, como Mestriner.

A percepção que este trabalho trouxe é de que as novas tecnologias presentes nas câmeras de smartphones, apoiadas por iniciativas *open source* e pela informática, podem contribuir em projetos de design, potencializando o uso de técnicas clássicas, como a coleta de medidas, que tradicionalmente é feita por paquímetro, além de permitir o acesso a equipamentos antes acessíveis apenas com grandes investimentos.

Essa acessibilidade pode permitir que mais designers possam conhecer e se servir deste instrumento para contribuir nos estudos e no desenvolvimento de projetos de embalagens mais sustentáveis.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:

Com a finalidade de aprofundar e dar continuidade à pesquisa sugere-se, para trabalhos futuros: aplicar, em amostras com maiores níveis de complexidade, a técnica aqui proposta, com o intuito de verificar mais precisamente os tempos de processamento e geração dos modelos; testar diferentes métodos de texturização artificial nos modelos, tendo como objetivo a investigação dos tempos de aplicação e de materiais mais adequados para esse fim; aplicar outros tipos de marcadores ou estudar formas de reduzi-los, com a finalidade de minimizar o trabalho de texturização virtual nas áreas cobertas; desenvolver suportes que diminuam a oclusão, sem danificar as amostras e que mantenham a estabilidade na etapa de manuseio das bases giratórias; explorar outras possibilidades de análise, como a manufatura aditiva, por exemplo, para associação e avaliação de modelos físicos com seus correspondentes virtuais; e desenvolver estudos mais aprofundados em ambientes virtuais

interativos, objetivando investigar a eficiência e precisão das amostras em sistemas de baixo custo.

REFERÊNCIAS

- ADAMOVIĆ, Savka et al. Developing augmented reality app for smart packaging. **Original Scientific Paper**, 2018.
- ALICEVISION, 2020. Disponível em: <https://alicevision.org/>
- ALLAREDDY, V. et al. 3D dentofacial photogrammetry reference values: a novel approach to orthodontic diagnosis. **European Journal of Orthodontics**, v.39, n.02, p.215-225, 2017.
- ALENCASTRO, Yvana Oliveira de. **Faça-você-mesmo a digitalização 3D de acervos museológicos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Design. Porto Alegre, 2018.
- ALONSO, Nivaldo; DORNELLES, Rodrigo de Faria Valle. New virtual tool for accurate evaluation of facial volume. **ACTA Cirúrgica Brasileira**, v.32, n.12, p.10750-1086, 2017.
- AMEEN, Wadea; AL-AHMARI, Abdulrahman; MIAN, Syed Hammad. Evaluation of Handheld Scanners for Automotive Applications. **Applied Sciences**, 2018.
- ANDRADE, Lilian Mendes. **Estudo da repetibilidade de medidas angulares e lineares na análise da morfologia facial por meio da estereofotogrametria**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2016. Acesso em: julho de 2021.
- ANVISA, 2018. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19782.htm.
- ARTEC, 2020. Disponível em: <https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-eva-lite>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGENS – ABRE. **Estudo macroeconômico da embalagem abre/fgv. 2018**. Disponível em: <<http://www.abre.org.br/setor/dados-de-mercado/dados-de-mercado/>> Acesso em: 30 de maio de 2018.
- AZEVEDO, Eduardo. **Computação Gráfica: Teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.
- BATES, Karl T. et al. Historical Photogrammetry: Bird's Paluxy River Dinosaur Chase Sequence Digitally Reconstructed as It Was prior to Excavation 70 Years Ago. **PLoS ONE**, v.9, n.04, 2014.
- BAXTER, Mike. **Projeto de Produto: Guia prático para o design de novos produtos**. 3.ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- BENYON, David. **Interação Humano-computador**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2012.
- BERTIN, Jacques; WESTPHALEN, Cecília Maria. **A neográfica e o tratamento gráfico da informação**. Curitiba: Editora da Universidade Federal Do Paraná, 1986.

BERTOLINE, Gary Robert; HARTMAN, Nathan W; ROSS, William A; WIEBE, Eric N. **Technical Graphics Communication**. 4. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 2008

BLAND, J. Martin and Altman; DOUGLAS, G. Agreement between methods of measurement with multiple observations per individual. **Journal of Biopharmaceutical Statistics**, v.17, n.4, p.571-582, 2007.

BLASTERTECHNOLOGY , 2020. Disponível em:
<https://www.youtube.com/c/BlasterTechnology1/videos>

BLENDER3D, 2020. Disponível em: <https://www.blender.org/>

BODI, V. et al. **From theory to practices: digital reconstruction and virtual reality in archaeology**. 2018. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/FROM-THEORY-TO-PRACTICE%3A-DIGITAL-RECONSTRUCTION-AND-Comes-Tompa/ab7558de405f2931a07a83de03533117ebee31f8>.

BONGARD-BLANCHY, Kerstin; BOUCHARD, Carole. Dimensions of User Experience – from the Product Design Perspective. Arts et Métiers ParisTech. **Journal d’Interaction Personne-Système**, v.3, n.1, Art. 2, 2014.

BONSIEPE, Gui. **Design, cultura e sociedade**. São Paulo: Blucher, 2011.

BONSIEPE, Gui. **Do material ao digital**. São Paulo: Blucher, 2015.

BRAVIANO, Gilson ; CORDEIRO, Joe Wallace. Design de embalagem de alimentos frescos com o auxílio de simulações físicas em ambiente virtual. **Educação Gráfica**, São Paulo, v.23, n.02, p.210-223, 2019.

BRENDLER, Clariana Fischer. **Método para levantamento de parâmetros antropométricos utilizando um digitalizador 3D de baixo custo**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Design, Porto Alegre, 2013.

BRENDLER, Clariana Fischer; SILVA, Fábio Pinto da.; TEIXEIRA, Fábio Gonçalves. Avaliação dos modelos obtidos por diferentes sistemas de digitalização 3D para produtos personalizados. **DAPesquisa**, Florianópolis, v.10, n.14, 2015.

BRETTEL, Malte; FRIEDERICHSEN, Niklas; KELLER, Michael; ROSENBERG, Marius. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Science, Engineering and Technology**, v.8, p.37-44, 2014.

BRITO, Jorge Nunes; COELHO, Luiz. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2007.

BRUSCATO, Underléa Miotto et al. Prototype of a facilitating device for photogrammetric 3D acquisition with smartphones. **SIGraDi 2016**, XX Congress of the Iberoamerican Society

of Digital Graphics, Argentina, 2016.

CALVER, Giles. **O que é Design de Embalagens?** Bookman, 2009.

CAMILO, Assunta Napolitano (Org.). **Embalagens: Design, materiais, processos, máquinas e sustentabilidade.** Barueri SP. Instituto de Embalagens, 2011.

CAMILO, Assunta Napolitano (Org.). **Embalagem Melhor Mundo Melhor: Tendências, Inovações, Materiais, Processos e Sustentabilidade.** Barueri SP. Instituto de Embalagens, 2017.

CARVALHO, Maria Aparecida de. **Engenharia de embalagens.** São Paulo: Novatec, 2008.

CASTRO, A. Gomes; POUZADA, A. Sérgio. **Embalagens para a Indústria Alimentar.** Lisboa: Instituto Piaget, 2003.

CATTANI, Airton; LEENHARDT, Jacques. Taxonomia da representação em Design. **Educação Gráfica**, Bauru, SP. v.21, n.01, p.270 – 282, 2017.

CATAPAN, Márcio Fontana. **Análise Antropométrica da cabeça humana para dimensionamento de capacetes balísticos.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Curitiba, 2014.

CHAGAS, Carmo; CAVALCANTI, Pedro Rodrigues de Albuquerque. **História da embalagem no Brasil.** Editora Grifo, 2006.

CHEN, L. et al. Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas. **Gestão & Tecnologia De Projetos**, v. 10, n.02, p.113-124, 2015.

CINTAS, Jesús et al. Photogrammetry of the three-dimensional shape and texture of a nanoscale particle using scanning electron microscopy and free software. ScienceDirect journal, **Ultramicroscopy**, 2016.

CLOUDCOMPARE, 2020. Disponível em: <https://www.danielgm.net/cc/>

COELHO, Luiz Antonio L. (Org.). **Conceitos-chave em Design.** Rio de Janeiro: Ed. PUC-Rio: Novas Ideias, 2011.

COLMAP, 2020. Disponível em: <https://colmap.github.io/>

CONCEIÇÃO, Maria Eloisa de Jesus; SANTOS, Jorge Roberto Lopes dos. Remodelando o Design do Vestuário com tecnologias digitais de produção. **Revista Triades**, v.6, n.01, 2017.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES). **Documento de Área de Arquitetura, Urbanismo e Design.** Disponível em: <https://www.capes.gov.br/images/stories/download/avaliacaotrienal/Docs_de_area/Arqu

itura_Urbanismo_e_Design_doc_area_e_comiss%C3%A3o_16out.pdf> Acesso em: 10 de maio de 2018.

CUNHA, Ícaro Lins Leitão da. **Revisitando o Problema de Visibilidade para Visualização Tridimensional**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação. Natal, 2014.

DAPONTE, P. et al. **State of the art and future developments of measurement applications on smartphones**. Department of Engineering, Laboratory of Signal and Measurement Information Processing, University of Sannio, Italy, 2013.

D'APUZZO, Nicola. “Overview of 3D surface digitization technologies in Europe.”. **Electronic Imaging**, 2006.

Errol Ozdalga, MD, #1 Ark Ozdalga, BS,#2 and Neera Ahuja, **The Smartphone in Medicine: A Review of Current and Potential Use Among Physicians and Students J Med Internet Res. 2012 Sep-Oct; 14(5): e128. Published online 2012 Sep 27. doi: [10.2196/jmir.1994]**

ESKO, 2018. Disponível em: <https://www.esko.com/en/products/store-visualizer>

FREIRE, Patricia Sá. **Aumente a Qualidade e Quantidade de Suas Publicações Científicas**: Manual para elaboração de projetos e artigos científicos. Curitiba: Editora CRV Ltda, 2013.

FREITAS, Gustavo. **Metodologia e aplicabilidade da digitalização 3D a laser no desenvolvimento de moldes para calçados e componentes**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, 2006.

GALO, Maurício; HASEGAWA, Júlio K.; TOMMASELLI, Antonio M. G. **Modernas tecnologias de aquisição de imagens em fotogrametria**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista – Unesp FCT - Faculdade de Ciências e Tecnologia - Departamento de Cartografia, 2000. - Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Mauricio_Galo/publication/267633448_Modernas_tecnologias_de_aquisicao_de_imagens_em_fotogrametria/links/5455916d0cf2bccc490cce1f/Modernas-tecnologias-de-aquisicao-de-imagens-em-fotogrametria.pdf>. Acesso em: 21 de setembro de 2017.

GENGHINI, Paulo Rogério. **O processo de engenharia reversa, com a utilização de sistemas de digitalização óptico sem contato de superfície e sua aplicabilidade na indústria automotiva**. TCC (Especialização) – Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Automotiva, São Caetano do Sul, 2013.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOM, 2018. Disponível em: <https://www.gom.com/en/products/3d-scanning/atos-compact-scan>.

GONÇALVES, Berenice; BRAVIANO, Gilson; CORDEIRO, Joe Wallace. A representação 3D interativa em design de embalagem: análise de plataformas 3D para visualização. **Educação gráfica**, São Paulo, v.22, n.01, 2018.

GS1 Brasil, 2018. Disponível em: <https://www.gs1br.org/>

HELLSTRÖM, Daniel; OLSSON, Annika; NILSSON, Fredrik. **Managing Packaging Design for Sustainable Development: A Compass for Strategic Directions**. John Wiley & Sons Ltd, 2017.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: Projeto e Produção**. Edgard Blucher Ltda, 2001.

JONES, Brad. **DSLRs vs. Smartphone Cameras, Compared: The Pros and Cons**. Disponível em: <https://www.makeuseof.com/tag/dslr-vs-smartphone-cameras-comparison/>
Acesso em: junho de 2021.

JORGE, Neusa. **Embalagens para alimentos**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013.

KALBACH, Jim. **Mapeamento de Experiências: Um guia para criar valor por meio de jornadas, blueprints e diagramas**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2017.

LU, Tina. **Despite Recession, Brazil LTE Smartphones Grew 53% Annually in 2016**. Disponível em: <https://www.counterpointresearch.com/despote-recession-brazil-lte-smartphones-grew-53-annually-in-2016/>
Acesso em: junho de 2021.

LUHMANN, T. et al. Close Range Photogrammetry Principles, techniques and applications. **Whittles Publishing**, Scotland, 2006.

MANOVICH, Lev. Novas mídias como tecnologia e ideia: dez definições. In: LEÃO, Lúcia. (Org.). **O chip e o caleidoscópio: Reflexões sobre as novas mídias**. São Paulo: Senac, 2005. p.23-50.

MAS-BARBERÀ, Xavier et al. Use of magnets for reversible restoration in sculpture. The case of the “Virgen de los Desamparados” in Valencia (Spain). **Journal of Cultural Heritage**, v.31, p.215-219, 2018.

MASTER. **Estrutura sólida**. Disponível em: < <https://master.agr.br/estrutura-solida/> >
Acesso em: 30 de maio de 2018.

MCCARTHY, John. Multi-image photogrammetry as a practical tool for cultural heritage survey and community engagement. **Journal of Archaeological Science**, v.43, p.175-185, 2014.

MERINO, Eugenio; PEREIRA Danilo. **Design: Valorizando Produtos da Agricultura Familiar**. Florianópolis: Instituto Ceba, 2005.

MEDEIROS, Ivan Luiz de. **A Materialização digital e sua sistematização no processo de desenvolvimento de produtos**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Comunicação e Expressão. Programa de Pós-Graduação em Design, Florianópolis, 2016.

MESTRINER, Fabio. **Design de Embalagem: Curso Avançado**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2002.

MESTRINER, Fabio. **Inovação na embalagem: manual prático - como criar embalagens que agregam valor a partir da percepção do consumidor**. São Paulo: M. books do Brasil Editora Ltda., 2018.

MOSA AS, YOO I, SHEETS L: **A systematic review of healthcare applications for smartphones**. BMC Med Inform Decis Mak 12:67, 2012.

MORAES, Cícero André da Costa; DIAS, Paulo Eduardo Miamoto; MELANI, Rodolfo Francisco Haltenhoff. Demonstration of protocol for computer-aided forensic facial reconstruction with free software and photogrammetry. **Journal of research in dentistry**, Tubarão (SC), v.2, n.1, Jan./Fev., 2014.

NEGRÃO, Celso. **Design de Embalagens: Do marketing à Produção**. São Paulo: Novatec, 2008.

NEGRÃO, Celso; CAMARGO, Eleida. **Design de Embalagens: Do marketing à Produção**. São Paulo: Novatec, 2008.

NETO, Argus Cezar da Rocha. **Aplicação de óleos essenciais em embalagens bioativas para o controle do bolor azul (Penicilium expansum) em frutos de maçã**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Biociências. Florianópolis, 2018.

NGUYEN, Van Nhat. SMARTPHONE PHOTOGRAPHY: THE USE OF SMARTPHONE CAMERA IN 2018. **International Business**, 2018.

OLOFSSON, Erik; Sjöln, Klara. **Design Sketching**. 3. ed. Suécia, KEEOS Design Books, 2006.

PERCOCO, Gianluca. Digital close range photogrammetry for 3D body scanning for custom-made garments. **The Photogrammetric Record**, p.73-90, 2011.

PEREIRA, Priscila Zavadil; SILVA, Régio Pierre da. Design de Embalagem e Sustentabilidade: uma análise sobre os métodos projetuais. **Design e Tecnologia**, Porto Alegre, v.02, 2010.

PINHEIRO, Rogélio Carpes. Digitalização Tridimensional direcionada à cirurgia plástica. **VI Seminário de Inovação e Tecnologia**, 2016.

POLY. Disponível em: <<https://poly.google.com/>> Acesso em: 07 de outubro de 2018.

POÇAS, M. F.; SELBOURNE, M. C.; DELGADO, T. **A embalagem para produtos alimentares**. Porto: ESB/UCP, 2003.

PROVENZA, Francesco. **Projetista de Máquina**. 71.ed. São Paulo: F. Provenza, 1994.

RHINOCEROS 3D, 2020 Disponível em: <https://www.rhino3d.com/download/>

RODRÍGUEZ-PARADA, Lúcia; PARDO-VICENTE, Miguel Ángel; ARES, Pedro Francisco Mayuet. Digitizing fresh food 3D scanning for custom packaging design. **Dyna**, Spain, 2018.

SANTAELLA, Lucia. **Semiótica Aplicada**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.

SANTAELLA, Lucia. **Comunicação Ubíqua: Repercussões na cultura e na educação**. São Paulo: Paulus, 2013.

SASTRE, Ricardo Marques. Design de embalagem: abordagens teóricas do Design sobre inovação. **Colóquio internacional de Design 2017**, 2018.

SAURA, Carlos Eduardo. **Aplicação da prototipagem rápida na melhoria do processo de desenvolvimento de produtos em pequenas e médias empresas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas. São Paulo: 2003.

SCHROEDER, Greyce Nogueira. **Metodologia de modelagem e arquitetura de referência do digital twin em sistemas ciber físicos industriais usando automation ml**. Tese (doutorado) - Universidade federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica. Porto Alegre, 2018.

SENSE 3D, 2018. Disponível em: https://br.3d3Dsystems.com/sites/default/files/2018-10/Sense_Flyer_2P_PT_Half-Letter_WEB.pdf

SEO, Suyoung. Investigation on Image Quality of Smartphone Cameras as Compared with a DSLR Camera by Using Target Image Edges. **Korean Journal of Remote Sensing**, v.32. p.49-60, 2016.

SILVA, Fabio Pinto da. **Usinagem de Espumas de Poliuretano e Digitalização Tridimensional para Fabricação de Assentos Personalizados para Pessoas com Deficiência**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, 2011.

SILVA, Daniel Carneiro da. T1 - Evolução da Fotogrametria no Brasil. **Revista Brasileira de Geomática**, 2015.

STEWART, Bill. **Estratégias de design para embalagens**. São Paulo; Blucher, 2010.

THIAGO, Bianca Bassetto. **Análise de sistemas de digitalização de baixo custo para utilização no desenvolvimento de órteses de membros superiores para crianças com**

deficiência sensório motora. TCC, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

VITALE, Valeria. Rethinking 3D Visualisation From photorealistic visual aid to multivocal environment to study and communicate cultural heritage. **King's College London**, 2017.

WALFORD, Alan. **A New Way to 3D Scan:** A White Paper. Eos System, Inc. Disponível em: < <http://www.photomodeler.com/downloads/ScanningWhitePaper.pdf>>. Acesso em: 21 de setembro de 2017.

WONG, Wucius. **Princípios de Forma e Desenho.** São Paulo: Martins Fontes, 2001.

APÊNDICE A – REVISÃO SISTEMÁTICA

Com o intuito de desenvolver a revisão sistemática para este documento, inicialmente seguiram-se as etapas propostas por Medeiros et al. (2015), adaptadas do Proknow-C e, com base na definição do objetivo geral e dos específicos, elaborou-se o Quadro 07, composto por três eixos temáticos.

No primeiro eixo de busca 1 procurou-se mapear a área da fotogrametria buscando palavras-chave que contemplassem pesquisas que abordassem o mesmo tema. No eixo 2 de pesquisa se teve como objetivo identificar especificamente a área de Design de Embalagens.

O terceiro e último eixo teve como finalidade delimitar a pesquisa aos artigos que abordassem o tema câmeras de *smartphones*.

Quadro 07 – Eixos Temáticos

| Eixo 1 | Eixo 2 | Eixo 3 |
|----------------|----------------------|------------|
| photogrammetry | design | cell Phone |
| digital Scan | package design | smartphone |
| 3D scan | packaging design | |
| | product design | |
| | structural packaging | |
| | | |

Fonte: o autor.

Seguindo o método recomendado por Medeiros et al. (2015), cada palavra-chave definida foi inserida no Google Acadêmico para ser avaliada em termos de impactos na pesquisa por meio dos resultados quantitativos gerados pelo buscador.

As bases de dados foram a Scopus, Science Direct e Web of Science. A sequência lógica de *strings* gerou o descritor da pesquisa que se aplicou nas bases de dados internacionais: (“photogrammetry” OR “digital scan” OR “3D scan”) AND (“design” OR “package design” OR “packaging design” OR “product design” OR “structural design”) AND (“cell phone” OR “smartphone”).

Utilizando-se como filtros limitadores o período entre 2008 até 2018, de livre acesso, títulos, palavras-chave e *abstracts*.

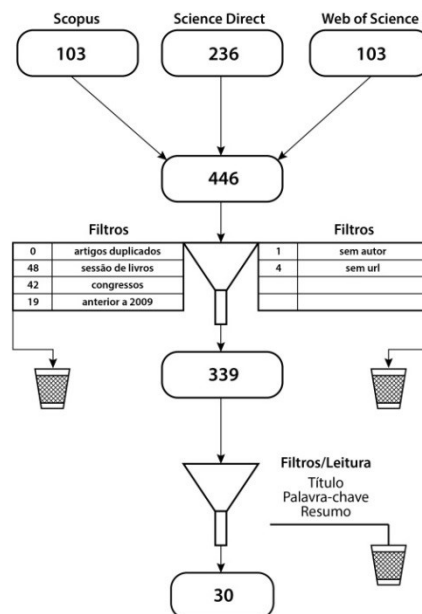
A quantidade total de artigos, excluindo-se os duplicados, foi de 446, sendo que a base do Science Direct obteve 236 resultados, as bases Scopus e Web of Science 103 artigos cada e quatro artigos não foram identificados quando importados para o Endnote X5.

Seguindo o procedimento de Medeiros et al., (2015), após a coleta inicial, novos filtros foram aplicados, eliminando-se artigos sem autor, data, artigos duplicados e com data anterior a 2008, além de restringir a pesquisa a apenas artigos de acesso livre pela rede UFSC.

A próxima etapa envolveu a leitura dos títulos, das palavras-chave e do resumo para identificar a relevância de cada artigo para o tema da pesquisa.

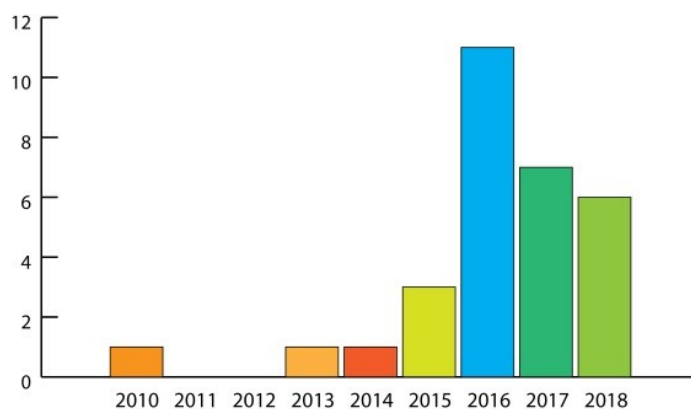
Procurou-se identificar todos os artigos que fossem indexados em periódicos de renome internacional e com credibilidade científica. Cada artigo selecionado passou por uma etapa de avaliação gerada pelo Google acadêmico para coleta de dados de acordo com a relevância de citações. As figuras 25, 26 e 27 mostram respectivamente a síntese da filtragem e análise das publicações mais relevantes.

Figura 25 – Fluxo da revisão sistemática



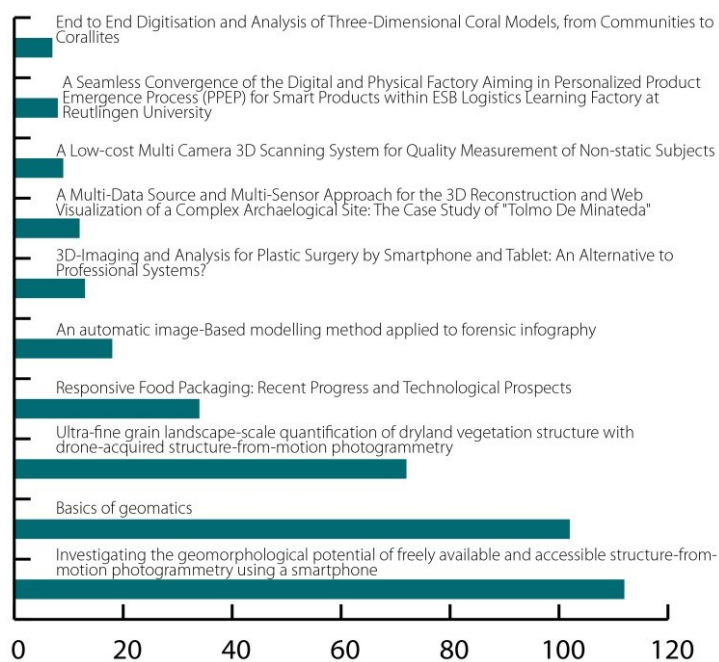
Fonte: o autor (2018).

Figura 26 – Gráfico por ano de publicação



Fonte: o autor (2018).

Figura 27 – Gráfico por relevância da publicação



Fonte: o autor (2018).

Bibliografia

Medeiros, I. L. de, Vieira, A., Braviano, G., & Gonçalves, B. S. (2015). Revisão Sistemática e Bibliometria facilitadas por um Canvas para visualização de informação. **InfoDesign - Revista Brasileira De Design Da Informação**, v.12, n.1, p.93–110. Acesso em: <https://doi.org/10.51358/id.v12i1.341>.

APÊNDICE B – ENSAIOS PRELIMINARES

ENSAIOS PRELIMINARES

A primeira Fase deste estudo consistiu em compreender, avaliar e dominar as ferramentas e técnicas que seriam utilizadas para o comparativo a ser realizado na Fase 2.

Com a utilização, em objetos de geometria simples, de ferramentas tradicionais de medição, os experimentos auxiliaram a investigar alguns métodos de fotogrametria, além de isolar e testar variáveis que influenciam na precisão e complexidade dos modelos 3d gerados.

Foram testados computadores, cenários, objetos de geometria e textura variadas, softwares *open source* para fotogrametria, sempre visando à simplicidade e eficiência dos métodos. Como resultado obteve-se um quadro com diretrizes que auxiliaram na aplicação do experimento da Fase 2.

Equipamentos e materiais dos Ensaio preliminares

Para o desenvolvimento dos experimentos de fotogrametria da Fase 1, foram adaptados os trabalhos desenvolvidos por Alencastro (2018) e Moraes, Dias e Melani (2017), que priorizam a utilização de instrumentos de baixo custo, porém considerando a introdução de smartphones no lugar de câmeras convencionais. Além disso, foram priorizados *softwares* livres, *open source* ou de baixo custo como requisitos para atender aos objetivos da pesquisa. Para que isso fosse possível, todos os dados foram processados, primeiramente, nas configurações automáticas de captura e processamento de dados.

DIGITALIZADOR 3D ARTEC

Com o intuito de auxiliar nos processos de análise e tomada de decisão, cada amostra que foi submetida ao processo de fotogrametria também foi digitalizada por meio de escâner profissional, que permitiu uma avaliação mais detalhada das geometrias resultantes dos ensaios preliminares (Figura 1).

Figura 1 – Equipamento para digitalização tridimensional



Fonte: elaborado pelo autor.

O equipamento utilizado para as digitalizações foi o scanner de luz branca estruturada, Artec Eva Lite[®] (Figura 1-A) em conjunto com um notebook Avell[®] (Figura 1-B) modelo 2019 com processador i7 9750H de nona geração, placa de vídeo Geforce[®] GTX 1660 Ti, disco 512 SSD com 32 gigas de memória RAM DDR 4 na plataforma Windows 10[®].

Para a operação do scanner Artec Eva Lite[®], empregou-se o software Artec studio[®] 13, que possibilitou a captura e tratamento dos arquivos 3d em tempo real. Esse mesmo equipamento foi utilizado, posteriormente, nos comparativos executados na Fase 2.

SMARTPHONE E SOFTWARE DE FOTOGRAMETRIA PARA OS TESTES PRELIMINARES

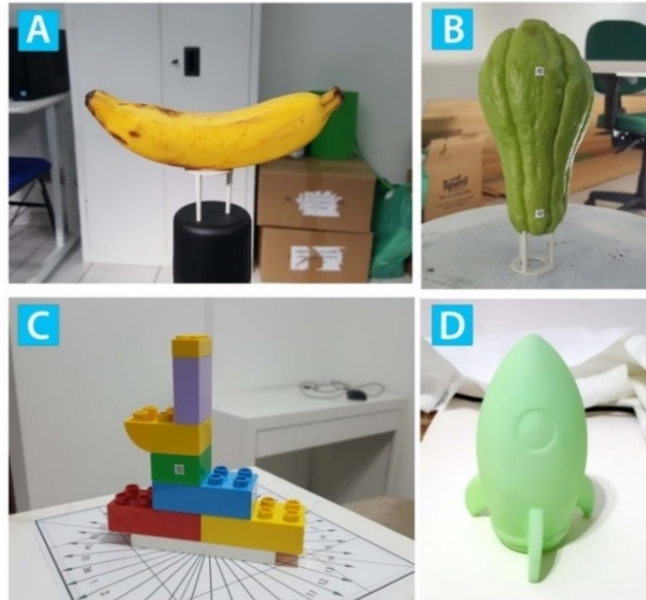
Nos testes iniciais de fotogrametria, as imagens foram captadas com um celular Samsung Galaxy Note 5[®], modelo 2015, em modo automático e resolução de 3984 x 2988 pixel, com compactação de imagem no formato de arquivo .jpeg. Após os testes iniciais, decidiu-se que o processamento das imagens e geração dos modelos 3d seria executado pelo software *Open Source Alice Vision Meshroom*[®].

AMOSTRAS E COMPUTADORES PARA O PROCESSAMENTO DE DADOS

Os Hardwares utilizados para processar os arquivos de imagem e analisar os modelos tridimensionais foram o Avell, modelo de 2019 e um modelo de 2012, um notebook i7 3720QM de terceira geração, 16 gb de memória Ram e placa de vídeo GTX 675m, disco 120

Gb SSD na plataforma Windows 7[®]. Para o processo de fotogrametria, foram digitalizadas uma banana (Figura 2-A) e um chuchu (Figura 2-B), além de objetos inorgânicos, como peças de Lego[®] (Figura 2-C) e uma luminária lúdica translúcida (Figura 2-D).

Figura 2 – Amostras para experimentos da Fase 1

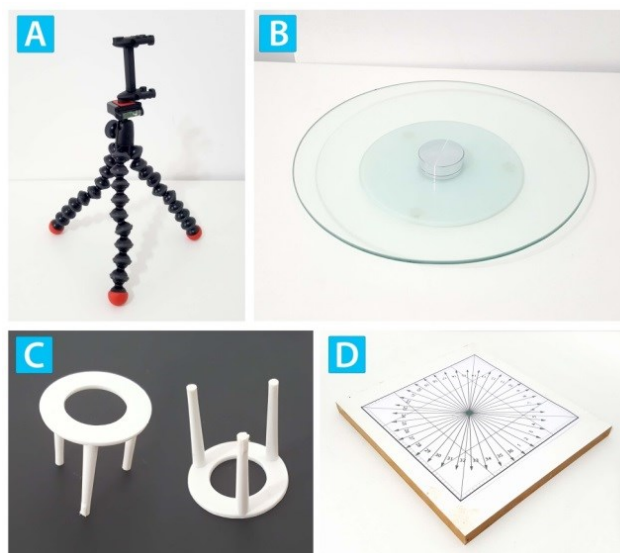


Fonte: elaborado pelo autor (2020).

ITENS DE APOIO PARA A TOMADA DAS FOTOS

Durante os experimentos iniciais, adaptando procedimentos encontrados na pesquisa bibliográfica, fez-se uso de um tripé de mesa para apoio e manuseio do smartphone (Figura 3-A), uma base giratória de confeitiro, de 240 mm de diâmetro, para rotação dos modelos (Figura 3-B), um tripé de suporte para caixa de pizza, de 34,5 mm diâmetro x 35 mm altura (Figura 3-C), além da confecção de uma base com marcações dos ângulos de giro, com as dimensões de 191 mm x 191 mm, impressa em folha A4 (Ver anexos), a qual foi colada em uma placa de MDF de 230 mm x 255 mm x 15 mm (Figura 3-D).

Figura 3 – Equipamentos auxiliares para coleta de imagens



Fonte: Elaborado pelo autor.

A placa MDF contendo a impressão das marcações dos ângulos foi posicionada sobre a plataforma giratória e sobre bancadas, dependendo do método de captura das imagens. Além de servir como plataforma para apoio dos objetos, a prancha de MFD também comportou o suporte de pizza, que serviu para ampliar o alcance das fotos e escaneamentos em muitos casos.

Cenários experimentais

O local para montagem dos cenários experimentais, relacionado à obtenção de dados por fotogrametria de baixo custo, foi definido como um ambiente que possibilitasse a caracterização do perfil de um escritório, que visasse à simulação de uma situação real encontrada em um espaço de trabalho, com acesso às formas de iluminação artificial e natural possuindo espaço adequado e uma mesa ou bancada para posicionamento dos instrumentos para coleta de dados em três diferentes cenários.

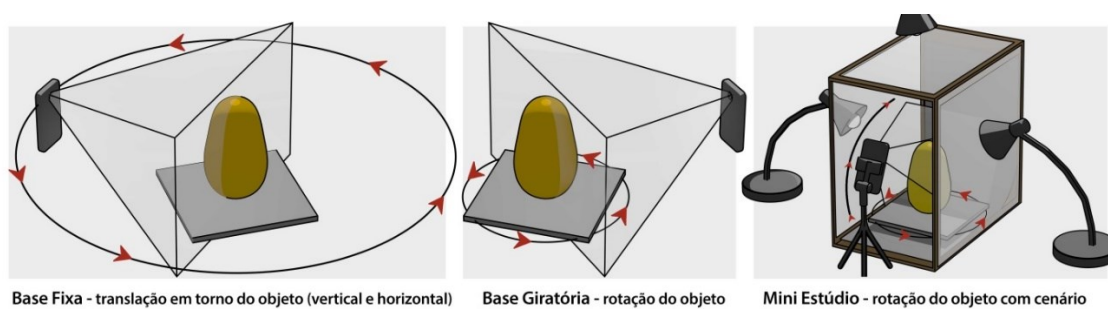
Conforme Alencastro (2018) existem dois fatores que podem interferir na qualidade do objeto gerado por fotogrametria. O primeiro deles diz respeito à iluminação do local e, para o experimento, adotou-se duas abordagens que consistiam em aproveitar a luz do próprio local do experimento com o auxílio de luz natural oriunda das janelas, e a outra abordagem seria a montagem de um estúdio de baixo custo, utilizando materiais acessíveis.

O segundo fator que pode influenciar no detalhamento do objeto gerado está relacionado com as informações visuais presentes no cenário de aquisição das imagens e cujas características são importantes para o processamento fotogramétrico em software, além de auxiliar do redimensionamento final em ambiente virtual.

Foram utilizadas as estruturas do laboratório de modelos do CEART (Centro de Artes) da UDESC (Universidade do Estado de Santa Catarina) e a sala de uma residência, com ampla iluminação natural e artificial, além dos equipamentos apresentados anteriormente.

Durante os experimentos iniciais, foram feitos, gradativamente, testes de captura de imagens fotográficas dos objetos, em três diferentes cenários (Figura 4), cujos resultados serão apresentados na sequência.

Figura 4 – Representação esquemática dos cenários para capturas de imagens



Fonte: elaborado pelo autor.

Ensaio preliminar 1 – Lego®

Os primeiros experimentos visaram à exploração e o domínio das técnicas de utilização dos equipamentos, processos e softwares envolvidos tanto na digitalização 3d, quanto na fotogrametria. O experimento de digitalização das peças de Lego® objetivou verificar a técnica de fotogrametria em uma superfície com geometria lisa regular, multicolorida e reflexiva, sendo as peças de lego amostras cujas características satisfazem esses requisitos. Esse conjunto de objetos pode fornecer uma forma simples e acessível de garantir certa exatidão nos processos de fotogrametria (BACHER, 2017).

Os objetos utilizados também serviram para a exploração inicial da técnica, objetivando controlar e simplificar o processo de ajustes e análises dimensionais dos objetos obtidos por fotogrametria, sem o auxílio de instrumentos como o scanner 3d.

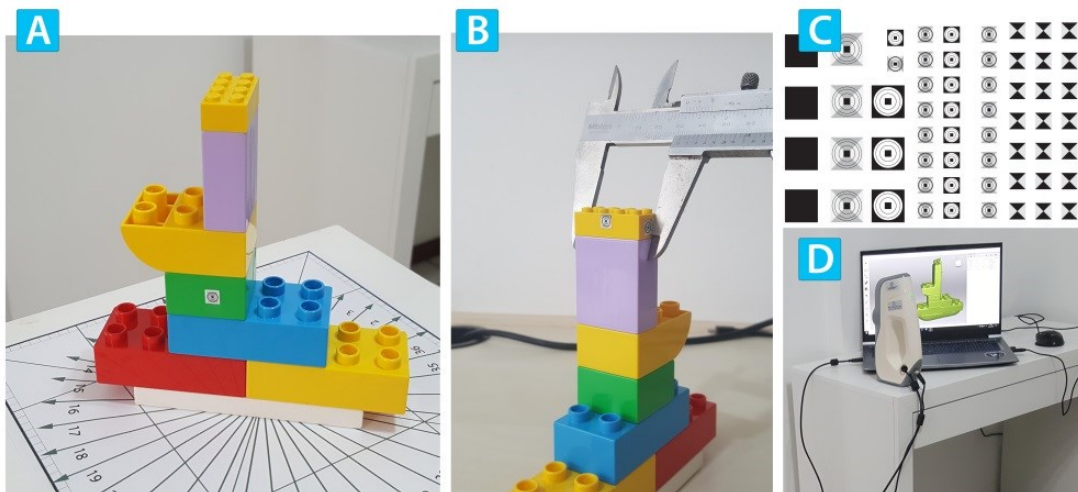
As dimensões, tomadas previamente por paquímetro, foram ajustadas em ambiente virtual, visto que uma das características verificadas, inicialmente, no processo por

fotogrametria é gerar um objeto sem as dimensões correspondentes do objeto material, em termos de escala. Outra forma de calibrar o objeto digital é por meio das marcações distribuídas no cenário.

Nesse primeiro experimento (Experimento 1), foram aplicados, no processo de fotogrametria, o método de tomada de fotos em base fixa, pois é o cenário relativamente mais simples de ser implementado.

Marcadores geométricos (Figura 5-C) foram desenvolvidos e aplicados em determinados locais da superfície da peça (Figura 5-A) e, em seguida, fez-se a tomada de medidas, com paquímetro, das dimensões gerais e de pontos de referência posicionados aleatoriamente no objeto (Figura 5-B). A amostra foi também digitalizada pelo scanner Artec Eva Lite (Figura 5-D), cujo objetivo foi fornecer um modelo 3d de referência da qualidade estrutural e dimensional.

Figura 5 Etapas de digitalização de modelo Lego®



Fonte: elaborado pelo autor.

A escolha do software de fotogrametria foi feita por meio de pesquisa bibliográfica e durante o processamento das imagens deste experimento. Para satisfazer o critério de baixo custo, optou-se pela utilização de softwares *open source* de fotogrametria, tendo sido testados o Colmap® e o Meshroom®.

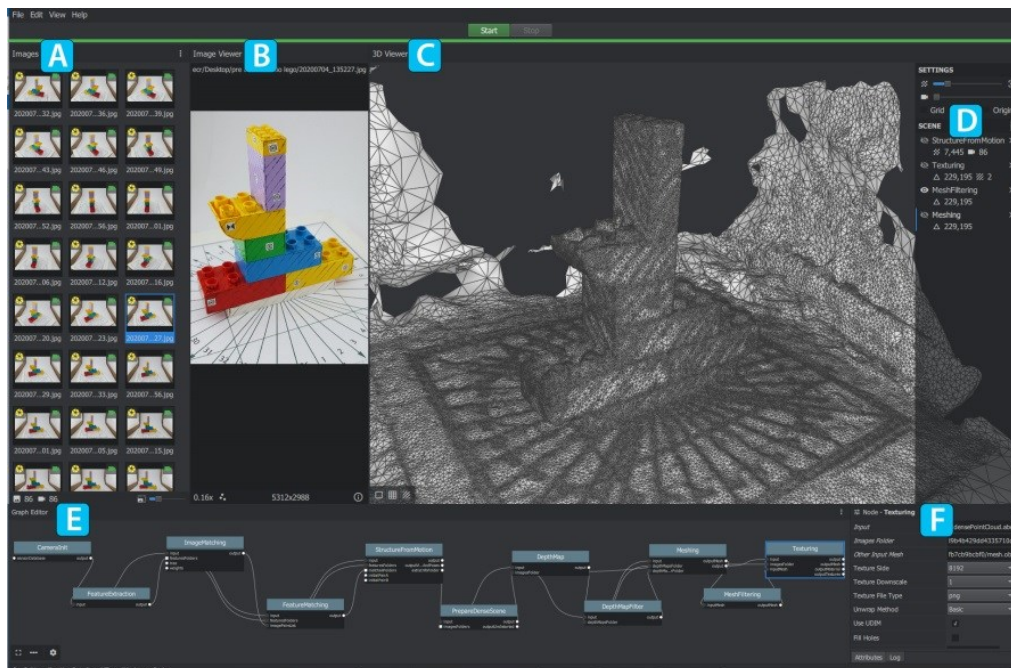
O Colmap é um software mais recente e carece em termos de usabilidade, necessitando que o usuário execute mais ações para realizar o processamento dos arquivos, exigindo um computador com placa de vídeo e processador mais robustos. Além do baixo custo, para a presente proposta, o software deveria ser de fácil operação e poder ser utilizado

em computadores mais antigos. Essas características foram usadas para descartar o Colmap[®] do processo e investir os estudos no Meshroom[®].

O Alicevision Meshroom[®] é dividido em janelas que atendem as interações do usuário com cada aspecto do workflow de fotogrametria por *Structure-from-Motion* (SfM) e *Multi View Stereo* (MVS). A Figura 6-A mostra a janela *Drop image Files / Folders* que recebe os arquivos das fotos digitais, que podem ser visualizadas detalhadamente na janela *Image Viewer* (Figura 6-B). A Figura 6-C mostra a janela *3d Viewer*, que apresenta a visualização das geometrias resultantes após o processamento das imagens.

Na janela SCENE (Figura 6-D), é possível controlar os modos de visualização do objeto 3d gerado podendo ser, por exemplo, *meshing* (malha 3d) *meshingFiltering* (malha 3d filtrada), *texturing* (malha com textura) ou *StructureFromMotion* (nuvem de pontos gerada).

Figura 6 – Interface do Meshroom



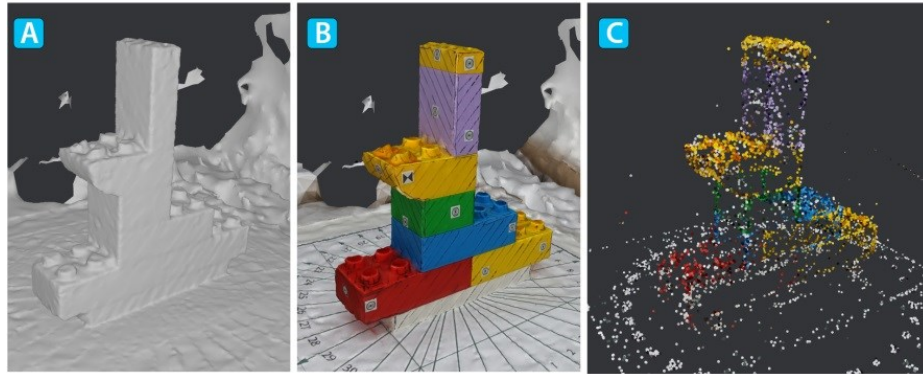
Fonte: elaborado pelo autor.

Para editar as configurações dos formatos e qualidade de arquivos que serão gerados, a janela utilizada é a *Graph Editor* (Figura 6-E), que oferece um conjunto de vários nós (*Nodes*) com configurações diversas, havendo uma janela própria (Figura 6-F) cujo conteúdo varia conforme o nó (*Node*) selecionado.

A adição de novos *nodes* e o início do processamento cria uma pasta com o *cache* das operações, e dentro desta pasta é gerada outra pasta correspondente para cada nó existente ou criado, onde são armazenados os vários formatos de arquivos resultantes do processamento,

como a malha 3d (Figura 7-A), as texturas (Figura 7-B) e nuvem de pontos (Figura 7-C), que podem ser visualizados no software, conforme exemplifica a Figura 7.

Figura 7 – Tipos de visualização dos resultados.



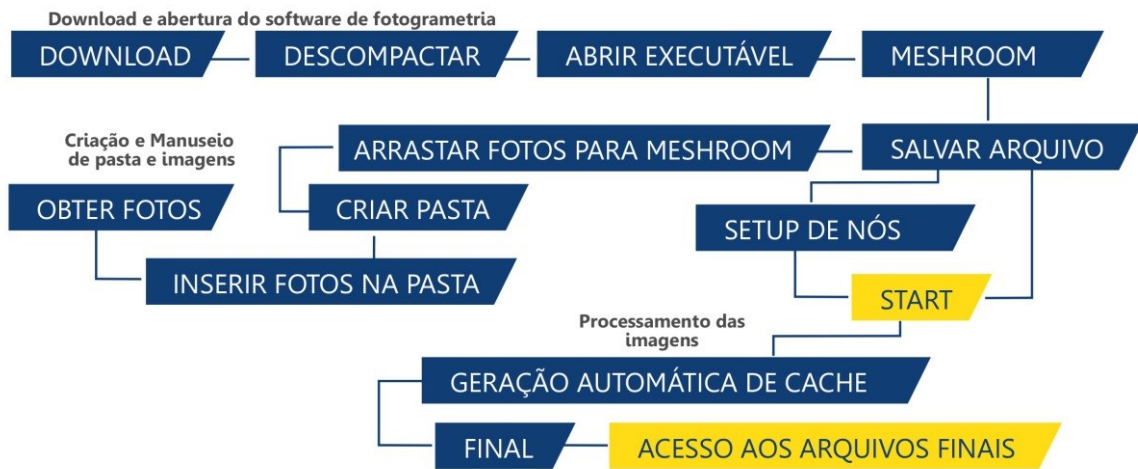
Fonte: elaborado pelo autor.

A utilização do sistema de nós no *Graph Editor*, além de gerar uma nova pasta para cada nova modificação de parâmetros, auxilia no desenvolvimento do projeto de forma iterativa, mantendo os resultados anteriores.

No fluxo de trabalho realizado com o software Meshroom[®] (Figura 8), para se gerar um arquivo 3d resultante do processamento de imagens, o usuário deve criar uma pasta e inserir uma sequência de fotos do objeto a ser digitalizado, fazer o download do Meshroom[®] no site de AliceVision[®], descompactar o arquivo e abrir o programa. Em seguida, o usuário deve selecionar todas as imagens da sequência e arrastá-las para a janela *Drop image Files / Folders*.

Seguidamente à leitura das imagens, já é possível iniciar o processamento dos arquivos por meio do botão *start*, ou executar alterações nas opções dos nós para obter outros resultados. Iniciado o processo, cada nó gera uma sequência de arquivos nas suas respectivas pastas, dentro da pasta *Cache*.

Figura 8 – Síntese do fluxo de trabalho do Meshroom



Fonte: elaborado pelo autor.

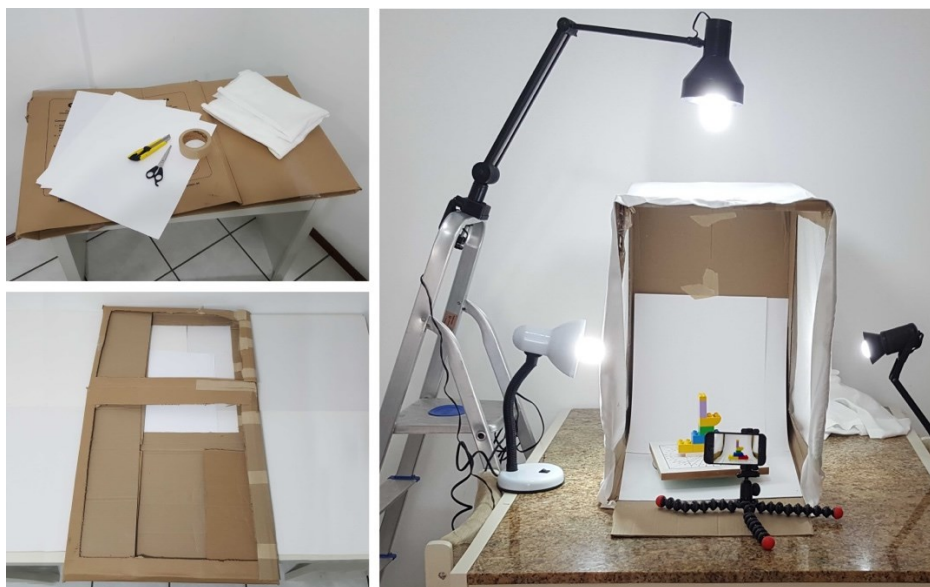
Ao fim do processo, é possível acessar os arquivos finais dentro das pastas. Nesta pesquisa, o formato de arquivo 3d utilizado foi o popular .OBJ, que facilita a importação e análise em diversos softwares.

O processamento das imagens foi executado nos dois computadores descritos anteriormente, sendo feitos alguns testes com configurações diferentes no *Meshroom*[®]. Assim, constatou-se que o parâmetro padrão do aplicativo causou um erro de processamento no computador mais antigo, fato que foi solucionado alterando-se o valor do parâmetro exigido no nó correspondente. Outro cuidado que se deve tomar ao nomear arquivos é não utilizar caracteres especiais como o cedilha e o til, pois eles tornam as pastas e arquivos ilegíveis para o *Meshroom*[®].

Além do cenário com base fixa, realizou-se o Experimento 1B onde o objeto foi digitalizado em um contexto com iluminação controlada, representado por um mini estúdio fotográfico desenvolvido a partir de materiais de fácil aquisição.

Seguindo os objetivos de baixo custo da pesquisa, o mini estúdio fotográfico foi confeccionado com materiais improvisados (Figura 9) tendo como estrutura uma caixa de papelão ondulado, nas dimensões 600 mm x 390 mm x 620 mm, folhas brancas de papel cartão A3, tecido TNT branco e fita adesiva. Para a iluminação, foram utilizadas três luminárias spot com uma lâmpada fluorescente compacta de 15W, uma lâmpada fluorescente de 20W e uma lâmpada led de 4W.

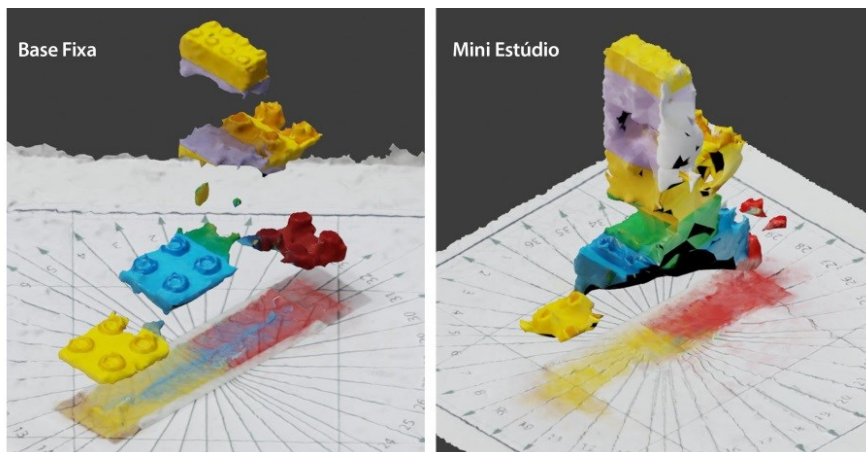
Figura 9 – Produção de estúdio fotográfico de baixo custo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Após o processamento das imagens capturadas nos cenários de base fixa (Experimento 1) e no mini estúdio (Experimento 1B), pode-se visualizar e avaliar as geometrias resultantes, conforme exemplificado na Figura 10.

Figura 10 – Exemplos dos resultados da fotogrametria de peças Lego



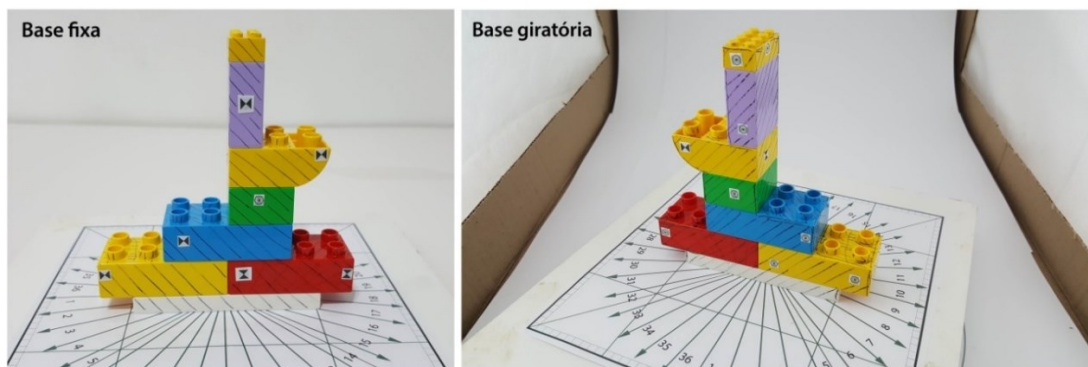
Fonte: elaborado pelo autor.

Por meio de análise visual, verificou-se que os objetos gerados não apresentaram um resultado satisfatório em termos de estrutura geométrica, fato que revelou uma possível fragilidade do método de processamento na geração de objetos com superfícies reflexivas, sem um mínimo de texturização e irregularidades.

Para explorar essa característica, foi realizado um novo experimento, cujo objetivo era testar a captura do mesmo objeto, mas com a aplicação de um padrão de textura. Então, foram

traçadas à mão livre, em toda a superfície do objeto, linhas paralelas, com caneta marcadora de cor preta (Figura 11).

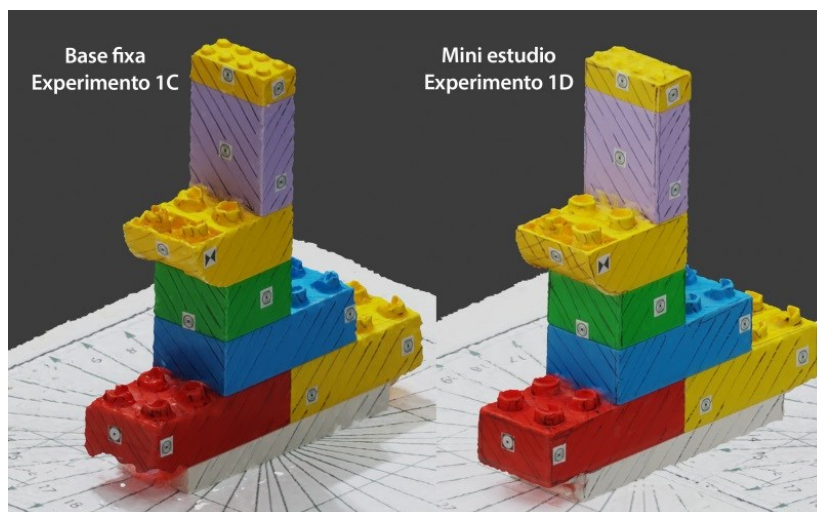
Figura 11 – Cenários para fotografia da amostra Lego com padrão de textura aplicado.



Fonte: elaborado pelo autor.

Com a peça Lego[®] texturizada, um novo teste foi realizado nos mesmos cenários, sendo o objeto fotografado em sequência, novamente na base fixa (Experimento 1C) e no mini estúdio (Experimento 1D), utilizando-se configurações de maior qualidade para o processamento no Meshroom[®] (Figura 12).

Figura 12 – Resultados da fotogrametria com as peças Lego texturizada



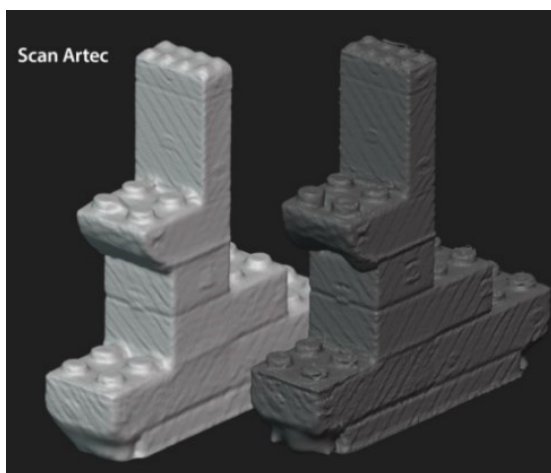
Fonte: elaborado pelo autor.

As digitalizações resultantes dos procedimentos com o objeto texturizado apresentaram, visualmente e estruturalmente, um resultado melhor do que as malhas 3d formadas pelo objeto sem a aplicação de textura. Em comparação com o modelo 3d gerado no teste anterior, a aplicação da textura na superfície do objeto composto de peças Lego[®] auxiliou no processamento de dados e na consequente melhoria dos modelos 3d.

TESTE DO EQUIPAMENTO PARA DIGITALIZAÇÃO 3D

Assim como todas as amostras da Fase 1, o objeto Lego® também foi digitalizado com o scanner Artec Eva Lite para que fossem avaliados os modos de qualidade no software Artec Studio®. Alguns resultados podem ser visualizados na Figura 13.

Figura 13 – Resultados da digitalização dos modelos por scanner Artec



Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados dos testes de digitalização auxiliaram na investigação dos ajustes da escala dos objetos, pois os modelos gerados por escaneamento não necessitam de configuração manual em sua escala dentro do ambiente virtual.

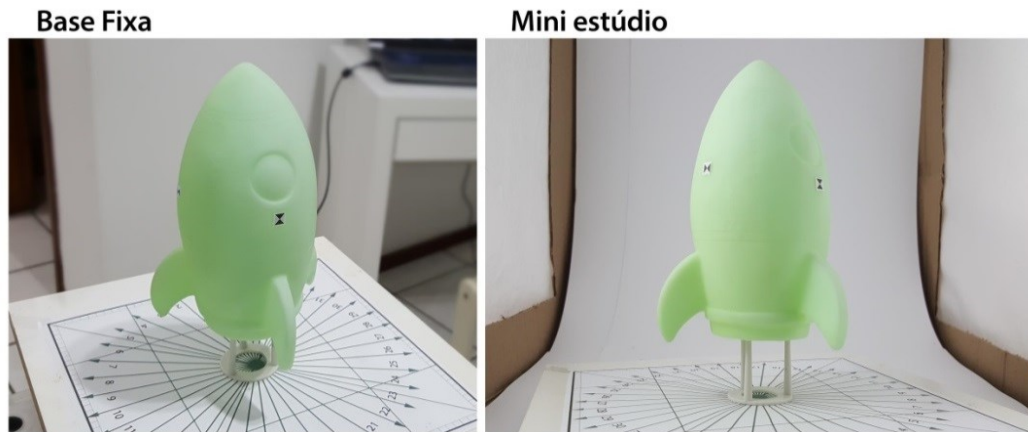
Este experimento contribuiu para identificar a variável textura da superfície, importante na obtenção de modelos 3d bem estruturados. Em relação à variável cenário, não foi possível identificar diferenças visualmente significativas na qualidade dos objetos 3d gerados neste experimento.

Constatou-se que as formas geométricas simples e a relativa precisão na fabricação da amostra, juntamente com a sua medição por paquímetro e a aplicação de marcadores na superfície, facilitaram as análises referentes à precisão dimensional dos resultados. A digitalização pelo scanner Artec Eva Lite também contribuiu para gerar um modelo de referência na análise estrutural dos objetos gerados por fotogrametria.

Ensaio preliminar 2 – Luminária

O segundo ensaio visou ratificar a questão relacionada à textura da superfície do objeto, além de testar diferentes configurações de cenário com base fixa e mini estúdio. Para isso, selecionou-se como amostra uma luminária lúdica (Figura 14), em formato de foguete, constituída de plástico translúcido, com geometria regular, superfície fosca e cor uniforme.

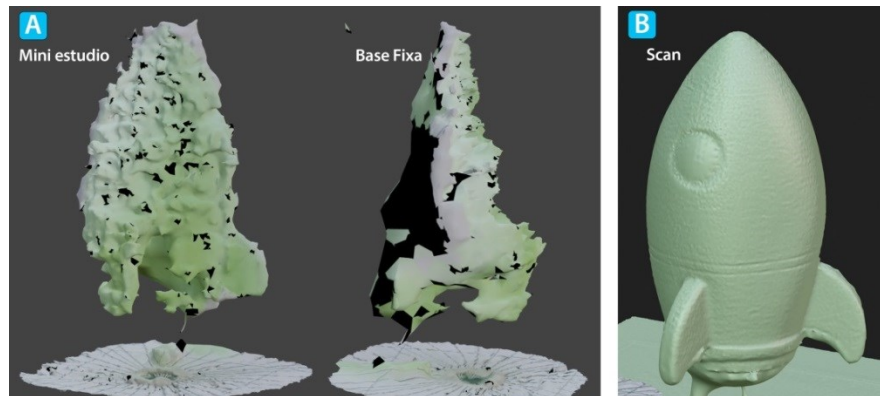
Figura 14 – Objeto luminária foguete



Fonte: elaborado pelo autor.

As sequências de imagens tomadas do objeto nos cenários de base fixa (Experimento 2A) e mini estúdio (Experimento 2B) foram inseridas no Meshroom[®] e processadas. No software, foram feitos testes para tentar melhorar a qualidade final da malha 3d, ajustando-se as configurações em *feature extraction* do modo padrão para o modo *high* e do modo *ultra* (neste caso, o processamento levou 605 minutos). Os resultados da fotogrametria, a partir de uma análise visual, mostraram-se insatisfatórios (Figura 15-A). A amostra também foi digitalizada pelo *scanner* Artec (Figura 15-B), com a finalidade de investigar a qualidade do objeto 3d gerado pelo equipamento. Percebeu-se que para o mesmo objeto foi gerada uma malha estruturalmente bem resolvida, mostrando a vantagem na utilização de um equipamento especializado em casos específicos como esse.

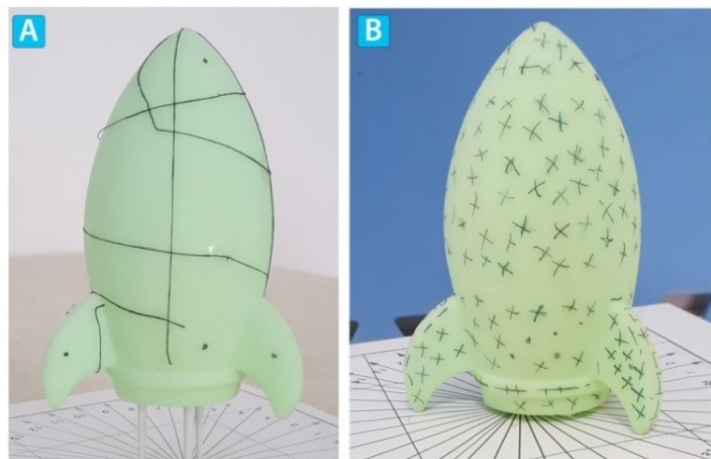
Figura 15 – Amostras dos resultados da digitalização por fotogrametria e por *scanner Artec*



Fonte: elaborado pelo autor.

Para confirmar que a existência de texturização na superfície influencia positivamente o resultado final do processamento, foram realizados dois testes apenas em base fixa (Experimento 2B) e (Experimento 2C), acrescentando-se diferentes padrões de textura na superfície. O primeiro serviu-se de uma caneta à base de água, preta, tendo sido marcados pontos e, a partir deles, envolveu-se o objeto utilizando uma linha de costura fina preta (Figura 16-A). O segundo experimento aplicou a textura com a caneta em toda a superfície, de forma a cobrir uma área maior da superfície (Figura 16-B).

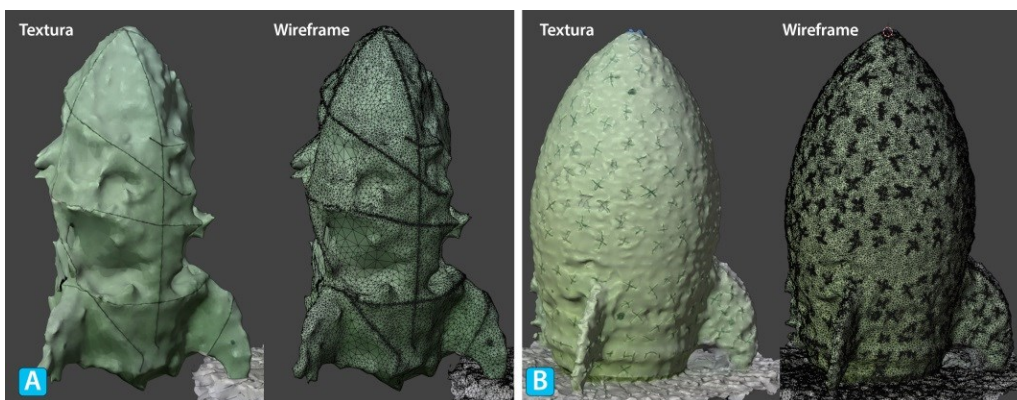
Figura 16 – Objeto luminária foguete texturizada



Fonte: elaborado pelo autor.

As imagens dos resultados exemplificam o aumento progressivo da qualidade estrutural das geometrias geradas pela base fixa com pouca textura superficial (Figura 17-A) e com uma maior área de aplicação de textura (Figura 17-B).

Figura 17 – Resultados dos modelos digitalizados após a aplicação de textura na superfície



Fonte: elaborado pelo autor.

O segundo ensaio preliminar corrobora os resultados do ensaio anterior, onde se percebeu uma melhora nos resultados das geometrias 3d geradas, em termos estruturais, com a aplicação de padrões sobre uma superfície de cor uniforme.

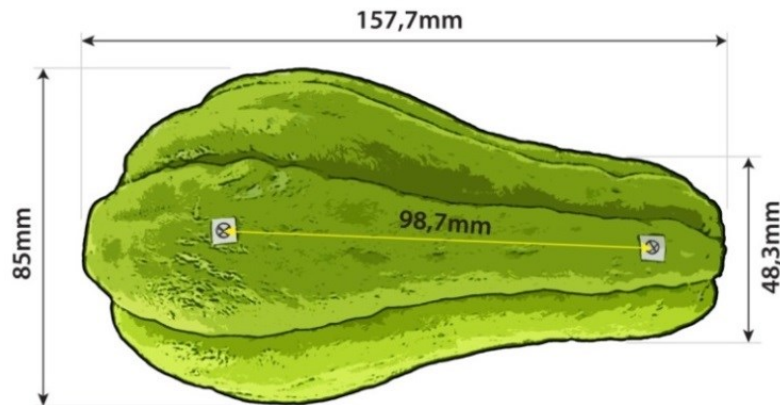
Ensaio preliminar 3 – Chuchu

No terceiro ensaio preliminar, além de se executar experimentos de digitalização de um objeto orgânico (chuchu), foi testado um método para a padronização do alinhamento e escala dos modelos gerados pela fotogrametria por meio de software *open source*. Também foram avaliados os tempos de processamento das imagens em dois computadores de diferentes configurações de hardware, com a finalidade de se definir em qual deles seria viável a realização de uma bateria maior de processamento, por meio da análise dos tempos empregados neste experimento.

Decidiu-se avaliar a digitalização de um objeto orgânico, sendo o legume chuchu escolhido por apresentar características relacionadas com o objetivo da pesquisa, que visa à digitalização de alimentos frescos, e por possuir uma superfície mais complexa que aquela das amostras dos dois ensaios anteriores.

Além dessas características, o chuchu tem uma cor relativamente uniforme e há ausência de padrões de textura visualmente evidenciados. Para o procedimento de digitalização do chuchu, foram utilizados os mesmos métodos de marcação dos ensaios anteriores, porém com um cuidado maior na coleta das dimensões gerais e no posicionamento das etiquetas, que foram colocadas de forma mais alinhada na superfície da amostra, facilitando a coleta das medidas de distâncias entre os pontos de referência por paquímetro (Figura 18).

Figura 18 – Medidas coletadas do objeto físico orgânico



Fonte: elaborado pelo autor.

Por se tratar de um objeto que apresenta deterioração e relativa fragilidade no manuseio, decidiu-se que as medidas de pontos de referência dos objetos seriam sempre o primeiro procedimento a ser executado. Distintamente dos objetos testados nos ensaios preliminares anteriores, o legume apresenta formas irregulares que podem dificultar os processos de alinhamento e dimensionamento em ambiente virtual; por este motivo, o posicionamento dos marcadores não foi aleatório, isso facilitou a coleta dos dados.

COMPARATIVO ENTRE COMPUTADORES 1

Neste ensaio preliminar, foram comparados os tempos de processamento das imagens no software Meshroom[®] nos dois computadores anteriormente apresentados. Os tempos de processamento foram diferentes entre os computadores, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 10 - Resultados dos tempos de processamento entre computadores

| CHUCHU | | | |
|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|
| Base Fixa 84 fotos | | Base Giratória 92 fotos | |
| Modo <i>High – depthmap 4</i> | | Modo <i>High – depthmap 4</i> | |
| Notebook 2012 | Notebook 2019 | Notebook 2012 | Notebook 2019 |
| 90 minutos | 51 minutos | 70 minutos | 42 minutos |
| Modo <i>High – depthmap 2</i> | | Modo <i>High – depthmap 2</i> | |
| Notebook 2012 | Notebook 2019 | Notebook 2012 | Notebook 2019 |
| Não computou | 85 minutos | Não computou | 74 minutos |

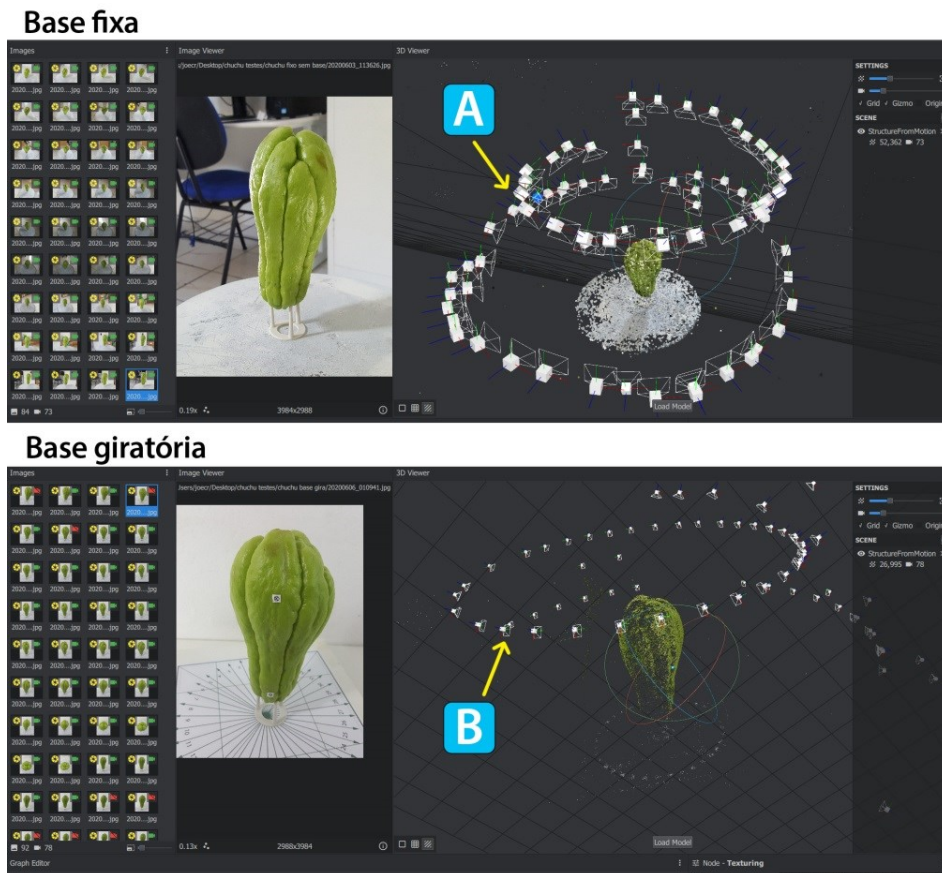
Fonte: elaborado pelo autor.

O modelo de 2012, devido à carência de uma placa de vídeo com mais memória, não conseguiu gerar os dados quando o parâmetro *depthmap*, que aumenta a qualidade final da malha 3d, é reduzido para 2. Esse parâmetro melhora a estrutura resultante do objeto adquirido, porém, aumenta o tempo de processamento em torno de 70%.

Exemplos dos resultados dos processamentos da fotogrametria, utilizando base fixa (experimento 3A) e base giratória (experimento 3B), podem ser vistos na Figura 19.

Após o processamento das imagens, o programa Meshroom gera uma câmera virtual para cada imagem reconhecida pelo algoritmo (indicadas pelas setas amarelas), sendo possível identificar as diferenças entre os trajetos executados por meio do método de base fixa (Figura 19 A) e pelo método de base giratória (Figura 19 B). Esses dados auxiliam a avaliar as estratégias de deslocamento da câmera, em relação ao alvo, no método de captura das imagens.

Figura 19 – Geometrias e câmeras geradas no Meshroom®



Fonte: elaborado pelo autor.

O ajuste da escala em software foi feito pela mensuração, com régua virtual, dos pontos de referência previamente aplicados e anteriormente medidos por paquímetro. Para encontrar o fator de escala, utilizou-se a fórmula $F=R/VD$, onde F é o resultado da divisão entre R , medida real tomada em milímetros, e V , a medida tomada em ambiente virtual. O resultado do cálculo foi utilizado, para este experimento, no Blender 3D[®], definindo-se a escala do ambiente virtual em milímetros.

Para executar os ajustes no software, importou-se o objeto para o Blender[®] e ajustaram-se as medidas globais para milímetros, medindo-se manualmente a distância entre os pontos de referência com a régua virtual (Figura 20-A). A medida de distância entre os pontos de referência é utilizada para calcular o fator de escala (Figura 20-B) e digita-se o valor encontrado nos campos X, Y e Z no atributo *scale* (Figura 20-C). Após esses procedimentos, fez-se novamente a mensuração dos pontos (Figura 20-C), para confirmação da medida final de distâncias, com ínfimas variações na aferição (0,001 milímetros), dependendo da resolução da textura e da geometria.

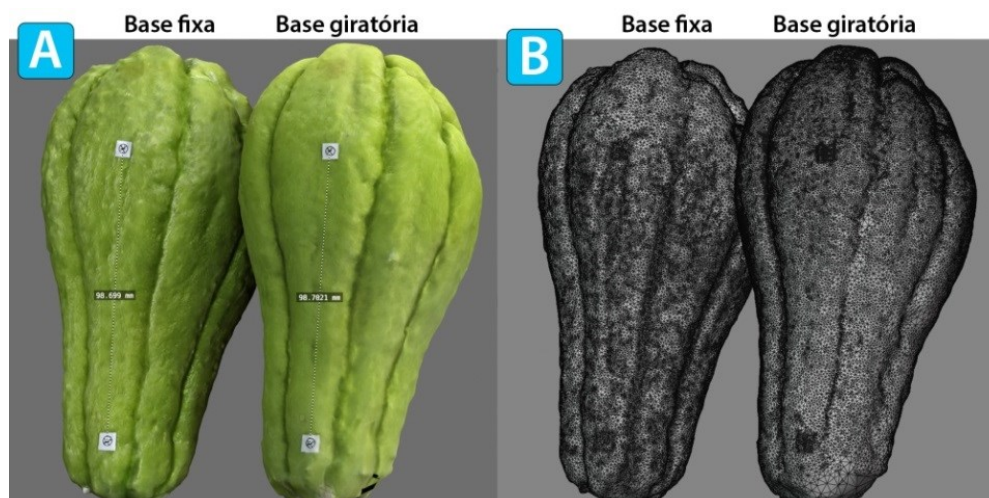
Figura 20 – Ajuste do fator de escala no Blender



Fonte: elaborado pelo autor.

Como resultado, o dimensionamento dos modelos pode ser feito de forma mais precisa e com menos ajustes manuais na escala dos objetos, então o comparativo dimensional foi facilitado, como mostra a Figura 21-A com textura e a Figura 22-B, em *wireframe*.

Figura 22 – Modelos com texturas e *wireframe* no Blender.



Fonte: elaborado pelo autor.

Esse experimento apresentou indícios de que o processo de fotogrametria funciona melhor em objetos com superfícies complexas, mesmo que eles apresentem cores uniformes e ausência de texturas destacadas. O resultado se reflete em um objeto final estruturalmente bem resolvido.

Assim, definir pontos e inserir previamente marcadores na superfície do objeto orgânico auxiliou na coleta de dados para o dimensionamento e alinhamento em ambiente virtual.

Percebeu-se, também, que a escolha do melhor equipamento disponível para processamento computacional possibilitou o aumento na qualidade estrutural dos modelos e redução nos tempos necessários para a obtenção dos mesmos.

Ensaio preliminar 4 – Banana

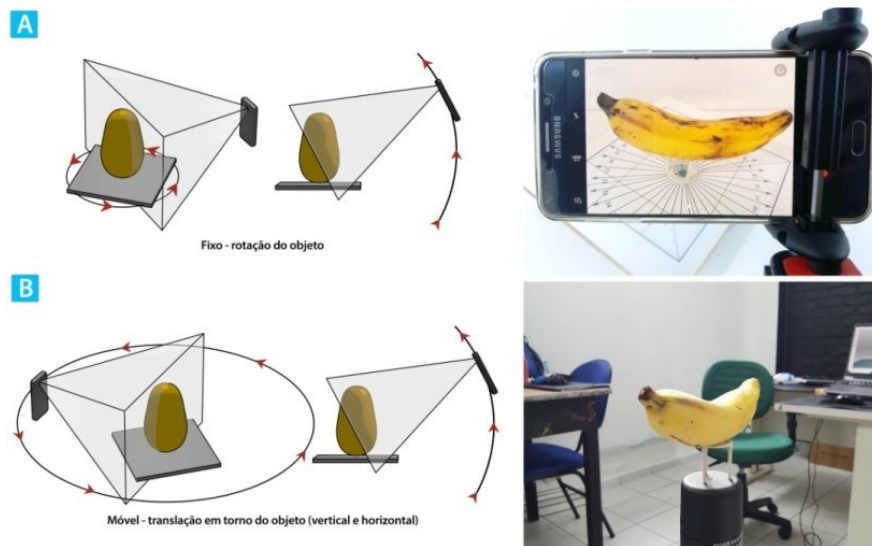
O Ensaio preliminar 4 concluiu os experimentos da Fase 1 e os dados obtidos complementaram o corpo de informações que serviram de base para a realização dos experimentos da Fase 2.

Selecionou-se, para o experimento 4 de digitalização, uma fruta com geometria simples e superfície naturalmente texturizada. Como amostra, uma banana foi escolhida por satisfazer tais características. Neste quarto ensaio, não houve preocupação com a iluminação, inserção de marcadores ou com os *setups* dos equipamentos, operando-se sempre que possível no modo padrão, visto que um dos objetivos da pesquisa era a abordagem facilitada para o usuário final.

No último experimento desse ensaio, foram realizados testes de processamento de imagens, utilizando-se 50% das imagens obtidas, com a finalidade de verificar a qualidade dos objetos gerados.

Dando início ao experimento 4, decidiu-se por não aplicar marcações de referência na sua superfície, com a finalidade de verificar se haveria impacto significativo na coleta das medidas. Para o experimento de fotogrametria 4A, fez-se a captação das fotos da banana no cenário de plataforma giratória (Figura 23-A) e, no experimento 4B, em cenário com base fixa (Figura 23-B), respeitando-se os ângulos e marcações da base de forma visual. Na sequência, as imagens foram transferidas para os computadores para serem processadas em software de fotogrametria.

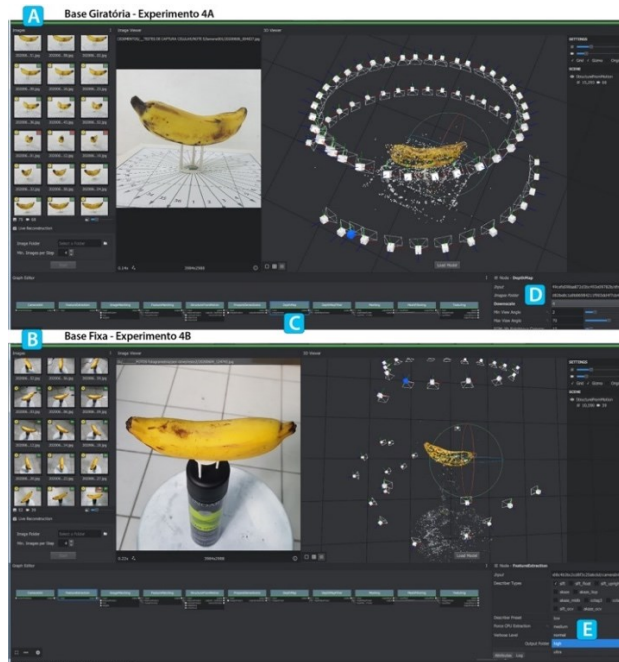
Figura 23 – Fotogrametria da amostra de banana.



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 24-A mostra o resultado gerado pelo método de base giratória, a Figura 24-B apresenta o resultado do método de captura por base fixa. Para que o processo não gerasse erro no computador mais antigo, os parâmetros de *depth map* foram ajustados de 2 para 4 (Figura 24-C e Figura 24-D), além da configuração para modo de alta qualidade de extração de características (Figura 24-E).

Figura 24 – Visualização dos resultados dos experimentos 4A e 4B.



Fonte: elaborado pelo autor.

O motivo do ajuste no parâmetro de *depthmap* (Figura 25-C) para o computador mais antigo foi devido às limitações de hardware, mais especificamente na memória da placa de vídeo.

Para análise visual dos modelos (Figura 25), adotou-se como padrão a utilização do software Blender 3D[®], que disponibiliza uma ampla gama de ferramentas para edição de objetos tridimensionais, além de uma régua virtual, fundamental para a coleta de medidas precisas e para os ajustes de escala e alinhamento.

Figura 25 – Visualização dos resultados do experimento inicial



Fonte: elaborado pelo autor.

Nesse experimento, decidiu-se não incluir pontos de referência para a coleta de medidas do objeto, com a finalidade de verificar qual o impacto deste procedimento para o

processo de coleta e dimensionamento. Sendo a amostra perecível, a ausência desses dados impossibilitou o escalonamento dos modelos fotogramétricos de forma ágil. Essa questão foi levada em consideração para os experimentos posteriores, decidindo-se pela utilização de marcadores nas amostras em todos os procedimentos.

SEGUNDO COMPARATIVO ENTRE COMPUTADORES

Nesta etapa também se compararam os tempos de processamento entre os diferentes computadores e observou-se que os ciclos de processamento foram bem diferentes devido à quantidade de imagens e às configurações de hardware, conforme sintetizado na Tabela 2.

Verificou-se que os tempos do notebook mais novo foram menores, comparados com o computador antigo, para as mesmas configurações de software (*describer preset high* e *depthmap*). Os modos com a configuração de *depthmap* menor do que quatro não foram computados novamente pelo computador mais antigo.

Tabela 11 - Resultados dos tempos de processamento entre computadores

| BANANA | | | |
|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
| Base Fixa 52 fotos | | Base Giratória 74 fotos | |
| Modo High – <i>depthmap</i> 4 | | Modo High – <i>depthmap</i> 4 | |
| Notebook 2012 | Notebook 2019 | Notebook 2012 | Notebook 2019 |
| 40 minutos | 18 minutos | 85 minutos | 35 minutos |
| Modo High – <i>depthmap</i> 2 | | Modo High – <i>depthmap</i> 2 | |
| Notebook 2012 | Notebook 2019 | Notebook 2012 | Notebook 2019 |
| Não computou | 34 minutos | Não computou | 77 minutos |

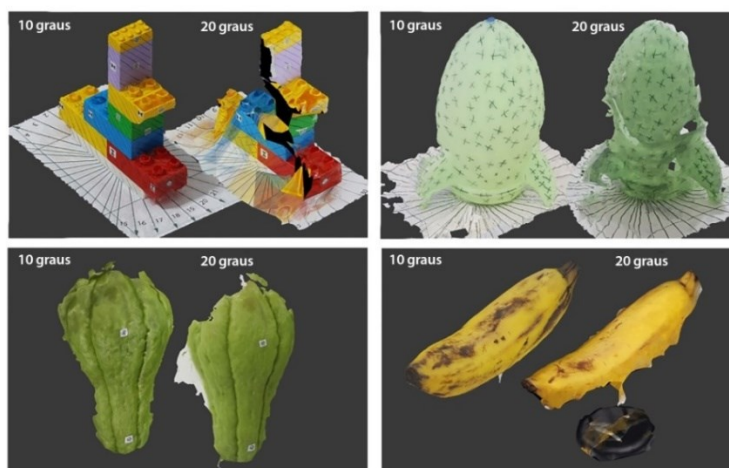
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A quantidade maior de imagens também influenciou no aumento do tempo de processamento e a qualidade final das geometrias 3d geradas, mesmo a amostra tendo uma estrutura relativamente simples, foi satisfatória, sendo provavelmente um dos fatores a presença de texturas bem definidas.

Além de experimentos relacionados às capacidades de hardware de dois computadores que apresentavam configurações diferentes, realizaram-se também testes de processamento com a metade de imagens capturadas. Tomadas em ângulos de 20 graus, a quantidade de imagens teve uma média de 40 arquivos, o que resultou em uma redução de 50% na

quantidade de fotos geradas em relação aos experimentos anteriores. Exemplos de resultados podem ser visualizados na Figura 26. Nela, pode-se perceber, por análise visual, que os objetos 3d obtidos pela redução da quantidade de imagens não foram satisfatórios e apresentaram diminuição na qualidade estrutural em todos os objetos 3d gerados, mesmo com as variações do tipo de cenário e das amostras utilizadas.

Figura 26 – Comparativo das amostras resultantes com tomada de fotos em ângulos de 10 e 20 graus.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

O resultado geral, considerando a redução da quantidade de fotos, não foi satisfatório, mesmo havendo uma diminuição de mais de 60% nos tempos de processamento das imagens no software Meshroom[®].

Nesse ensaio, os experimentos, forneceram indícios de que a quantidade de imagens afeta a qualidade e os tempos de processamento na geração dos objetos 3d. A utilização de um computador com hardware potente e atual também auxilia na redução dos tempos de processamento.

Perceberam-se, também, sinais de que os objetos que apresentam texturas naturais não necessitam que sejam aplicados padrões em sua superfície, porém, como alguns alimentos possuem rápida deterioração, é necessário que os procedimentos de fotogrametria sejam realizados de forma ágil e cuidadosa, além de ser necessária a tomada de medidas prévias com o objetivo de reduzir o trabalho de alinhamento e escala em ambiente virtual.

Conclusões dos ensaios preliminares da Fase 1

Os experimentos da Fase 1 adotaram um caráter exploratório, com o intuito de fornecer dados para a montagem do experimento da Fase 2, no sentido de possibilitarem a determinação da técnica de captura e dos softwares de processamento, tendo, ainda, gerado elementos associados aos custos, à precisão, ao detalhamento e à facilidade de aplicação.

Para que fosse possível um controle inicial sobre a escala e dimensões dos objetos em ambiente virtual, utilizaram-se, como objetos de estudo, peças geométricas com marcações e, em seguida, amostras de alimentos frescos. Também foram testadas peças LEGO[®] de fácil aquisição e relativa precisão na fabricação.

Na avaliação preliminar dos resultados da primeira Fase, os objetos 3d obtidos tiveram suas dimensões ajustadas em software Blender[®] 3d e puderam ser inspecionados visualmente com o auxílio dos objetos digitalizados por scanner 3d.

Os experimentos da Fase 1 permitiram identificar e avaliar algumas variáveis para a aquisição de fotografias. Dentre as mais significativas, estão os modos de disparo presentes nos smartphones, a iluminação do objeto, a configuração do ambiente e os ângulos de tomadas das fotos.

As imperfeições das superfícies e os padrões de textura presentes nas amostras foram os atributos mais significativos que impactaram na qualidade da malha 3d gerada. Objetos muito lisos e espelhados, com superfícies sem texturas não apresentaram bons resultados na construção dos modelos 3d, também aumentando o tempo de processamento das fotos.

Além das características superficiais dos objetos, outros fatores que influenciaram no processamento de imagens foram o foco e enquadramento das imagens. Fotos desfocadas ou desalinhadas não foram reconhecidas e processadas pelo software.

Para este estudo, o software Meshroom demonstrou ser a melhor opção *open source* devido à facilidade de utilização e gerenciamento, atendendo aos objetivos da pesquisa.

Constatou-se que a tomada de fotos por base giratória e marcações de ângulos foi rápida para a aquisição das imagens, mesmo este procedimento não sendo recomendado para iniciantes ou para quem não dispõe de tempo, pois exige a criação de máscaras que visam eliminar os objetos de interesse do fundo da fotografia, fato constatado na documentação de utilização do software Meshroom, que recomenda obter as imagens girando ao redor dos objetos.

A proposta de utilização de diferentes cenários de captura dos objetos não apresentou significativas diferenças de resultados na qualidade dos modelos. Assim, não foi possível indicar algum cenário que seria mais adequado.

O controle absoluto da luz do ambiente, para o modo indicado pela documentação do software Meshroom, é impraticável para o cotidiano, então nossa recomendação é que a iluminação seja difusa e clara. Além da iluminação, a quantidade de fotos influencia na coleta de dados e quanto mais fotos de ângulos variados obtivermos, melhores deverão ser os resultados, porém o tempo de processamento aumenta drasticamente.

A quantidade de fotos geradas ficou entre 70 e 80 imagens, para o modo sem base giratória, em duas voltas de 35 a 40 imagens para cada passada e em dois ângulos de altura diferentes, definidos visualmente.

O Quadro 1 apresenta uma síntese com os principais levantamentos sobre as características avaliadas no experimento e que auxiliaram na tomada das decisões para a realização da Fase 2.

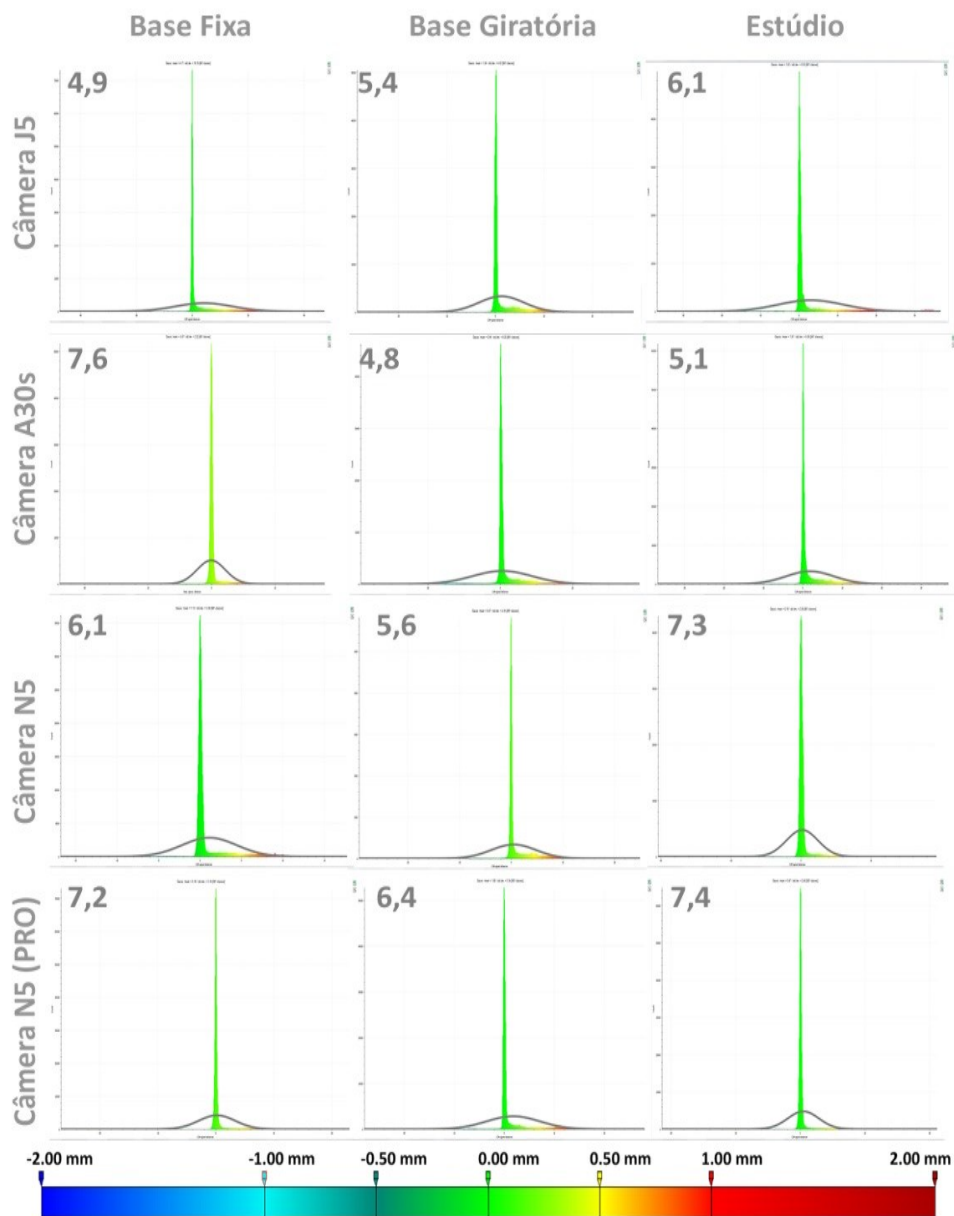
Quadro 1 – Síntese dos levantamentos e tomada de decisão para o comparativo.

| Variáveis | Características | Diretrizes do experimento |
|---|--|---|
| Computador para processamento de imagens | Testou-se dois sistemas de potência e datas de fabricação diferentes. O computador mais atual e potente foi capaz de realizar todas as tarefas. | Será utilizado o computador mais potente. Os tempos serão computados em minutos. |
| Softwares <i>open source</i> para fotogrametria | Foram testados dois softwares e o escolhido foi o Meshroom, pela facilidade de uso e melhor gestão dos arquivos de entrada e saída, além de extensa documentação e comunidade de usuários. | Será utilizado o meshroom para geração dos modelos. Para ajustes e preparação das malhas 3d serão utilizados o Blender 3d, priorizando o uso de softwares <i>open source</i> . |
| Cenários | Três configurações de cenários para tomada de fotos foram testadas. Os testes iniciais revelaram pouco sobre as posições e iluminação. | As três configurações serão repetidas com o intuito de obter mais informações sobre tempo, iluminação, posicionamento, oclusão das amostras e a facilidade de operação dos diferentes modos. |
| Amostras | As amostras inicialmente testadas serviram para as investigações sobre as estruturas dos objetos, superfícies, cores, texturas, calibração e precisão dos procedimentos. | As amostras serão 7 alimentos frescos representadas por frutas com variações do tipo, cor, textura, complexidade de superfície e tamanho. |
| Marcações de referência | Foi necessário inserir pontos de referência por meio de marcadores na superfície dos objetos para coleta de medidas, dimensionamento e posicionamento em ambiente virtual. | Os marcadores serão mantidos para o experimento e espera-se um total de 84 modelos 3D que darão um panorama sobre a relação entre a quantidade de amostras digitalizadas e o tempo dispendido no processo. |
| Quantidade de imagens | Foram testados ângulos de 10 e vinte graus ao redor dos objetos com um mínimo de 72 imagens e de 40 imagens em duas passadas em ângulos diferentes. | O procedimento de captura será em ângulo de 10 graus, sucessivamente, em duas passadas, com um mínimo de 72 imagens e algumas imagens extras na transição entre as passadas. |
| Smartphones | Os testes iniciais utilizaram a câmera de um smartphone topo de linha. Não foram testadas outras opções de modelos de celulares. | Serão utilizados 3 smartphones com resolução mínima de 12 megapixels. Um modelo topo de linha de 2015; Um modelo intermediário de 2019; Um modelo intermediário de 2015. |
| Modo de disparo | O modo automático foi o modo testado. Os resultados apontaram a facilidade de utilização no uso deste modo deve ser levado em consideração. | Será mantido o modo automático. O modo pro será testado quando houver esta opção, para a investigação de possíveis impactos nos resultados. |
| Tempo | O tempo foi registrado para decisão sobre procedimentos, como a escolha do computador para processamento além da característica de percibibilidade dos alimentos e cronograma. | Serão aferidos os tempos de tomada de fotos nos diferentes cenários. Utilizou-se os resultados dos tempos de processamentos para estimar a quantidade de amostras e sequências para os próximos experimentos. |
| Custos | Visando à redução de custos e facilidade de implementação nenhum material utilizado nos cenários foi comprado e sim adaptado e manufaturado. | Serão utilizados materiais e equipamento disponíveis. As frutas serão compradas. Os valores dos itens serão listados. |

Fonte: elaborado pelo autor.

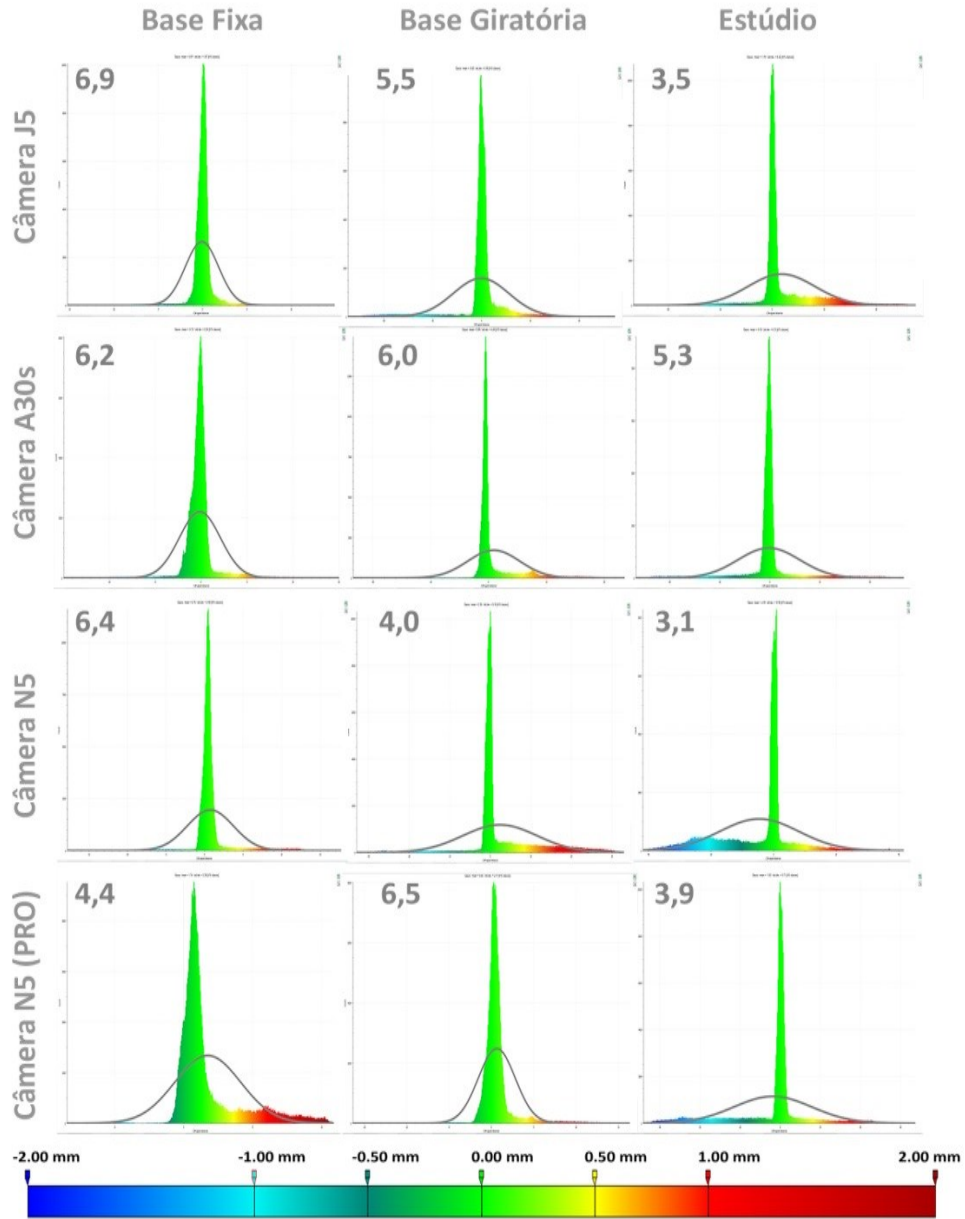
APÊNDICE C – GRÁFICOS GERADOS PELO SOFTWARE CLOUD COMPARE

Figura 1 – Gráfico de distribuição normal (gaussiano) das distâncias aproximadas do abacate.



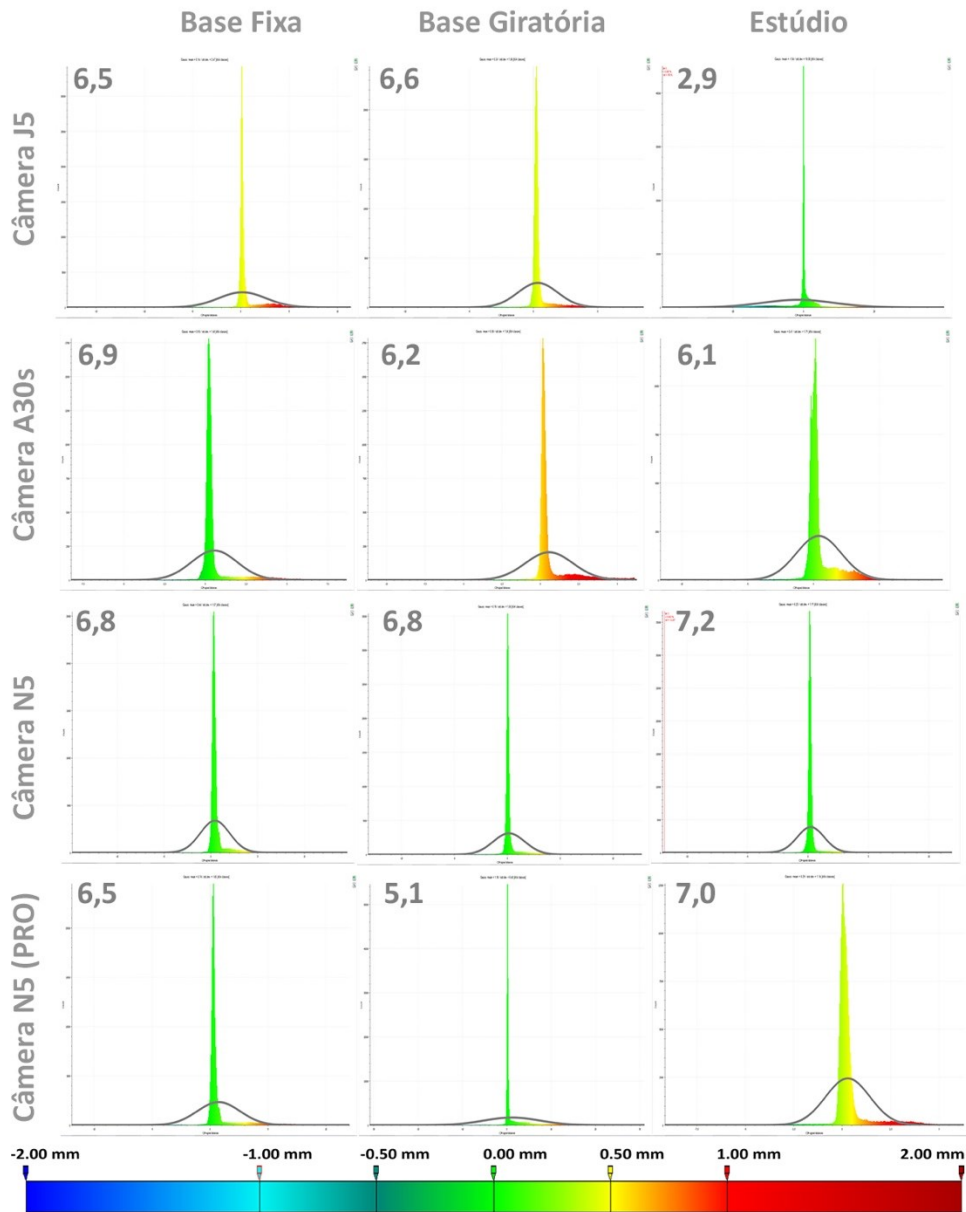
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 2 – Gráfico de distribuição normal (gaussiano) das distâncias aproximadas do avocado.



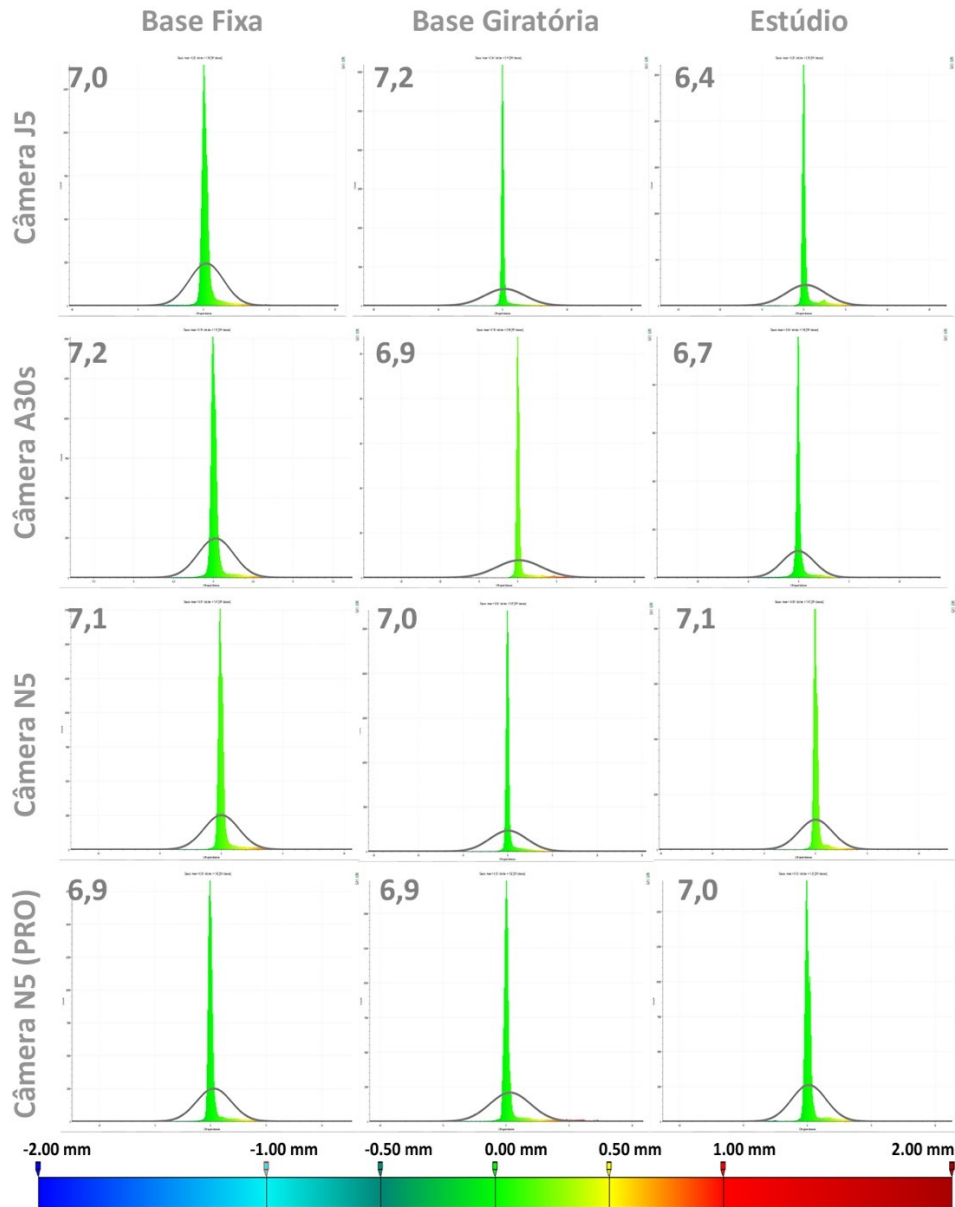
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 3 – Gráfico de distribuição normal (gaussiano) das distâncias aproximadas da maçã verde.



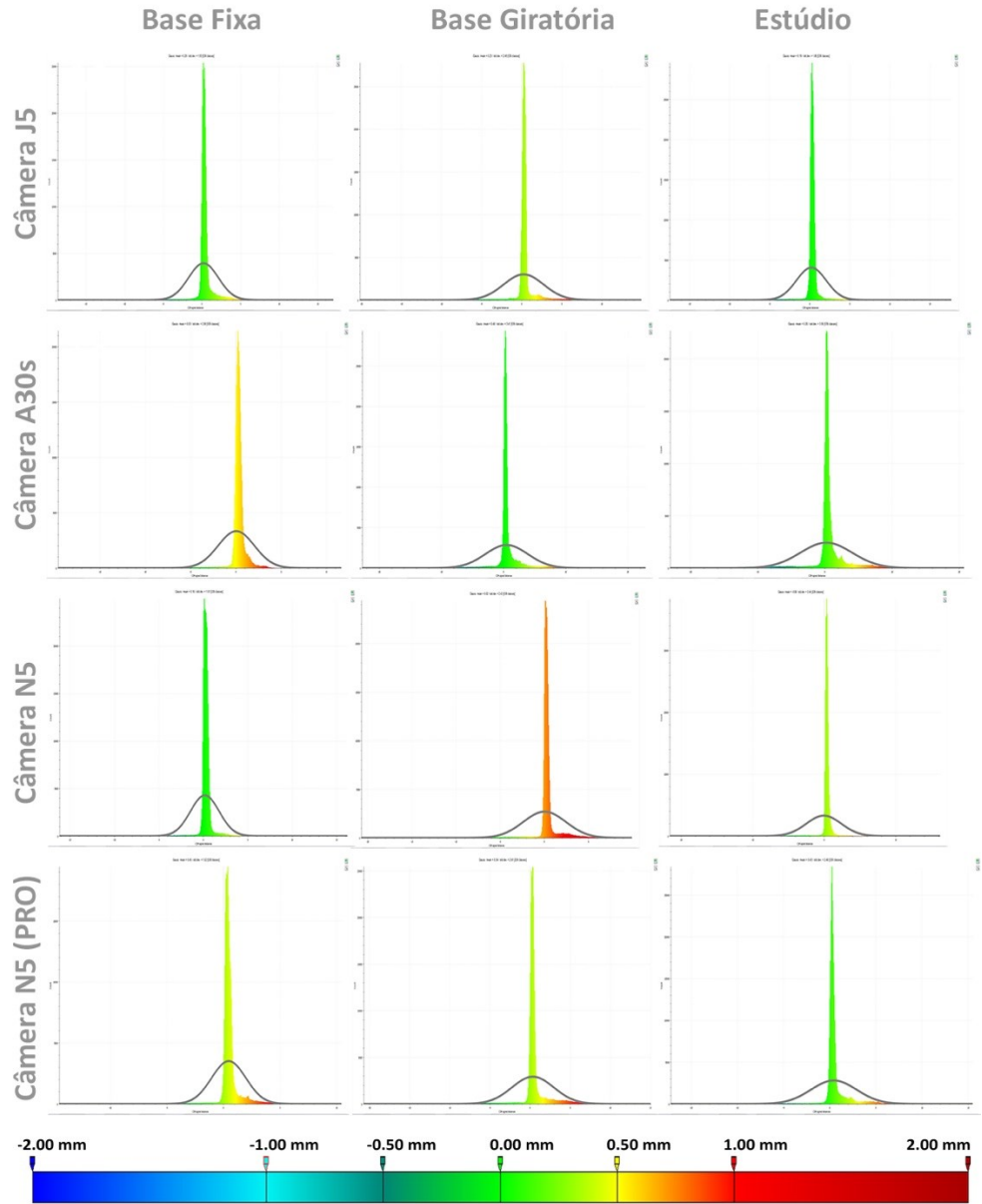
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 4 – Gráfico de distribuição normal (gaussiano) das distâncias aproximadas da maçã vermelha.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 5 – Gráfico de distribuição normal (gaussiano) das distâncias aproximadas do mamão.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 6 – Gráfico de distribuição normal (gaussiano) das distâncias aproximadas do melão.

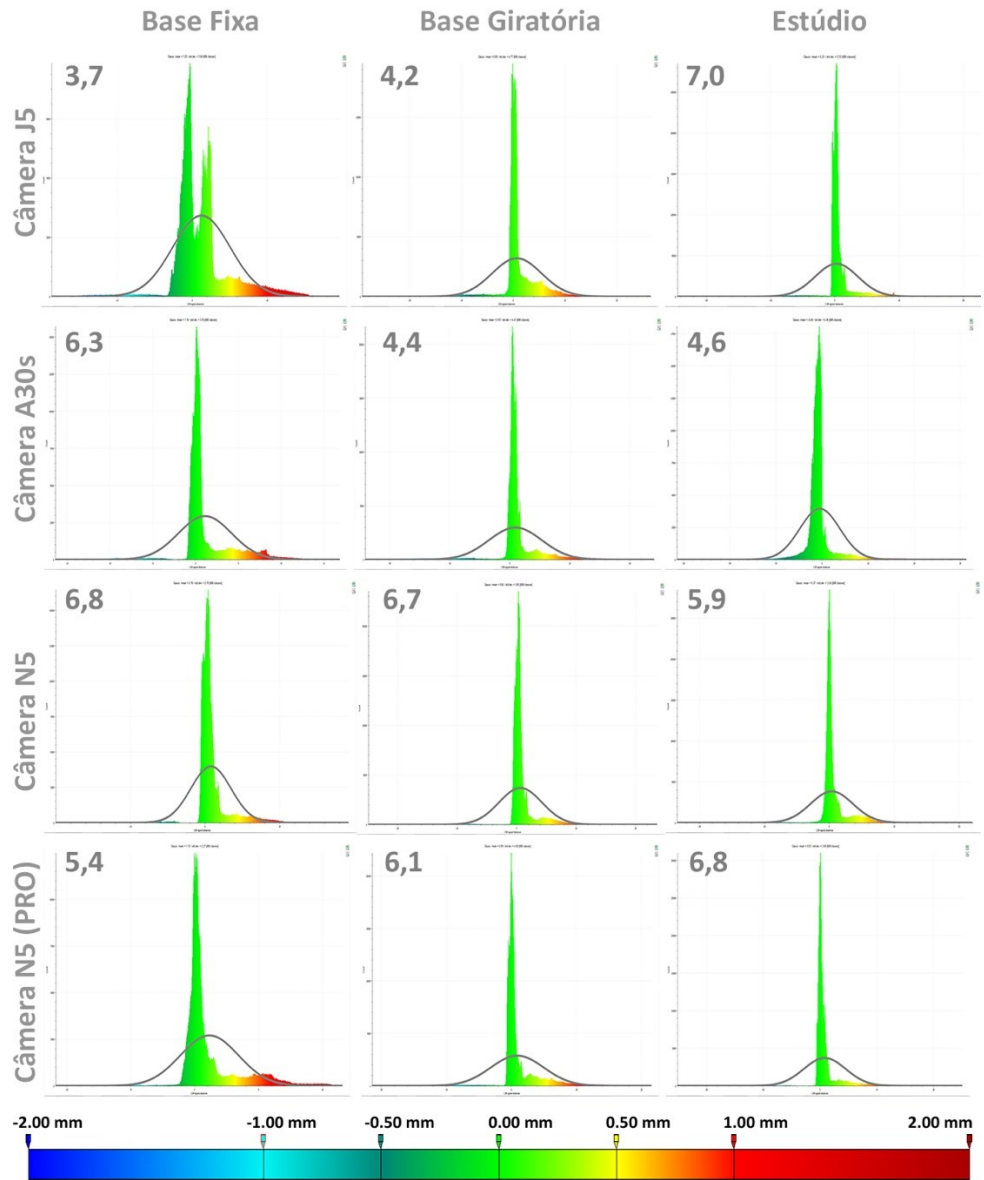
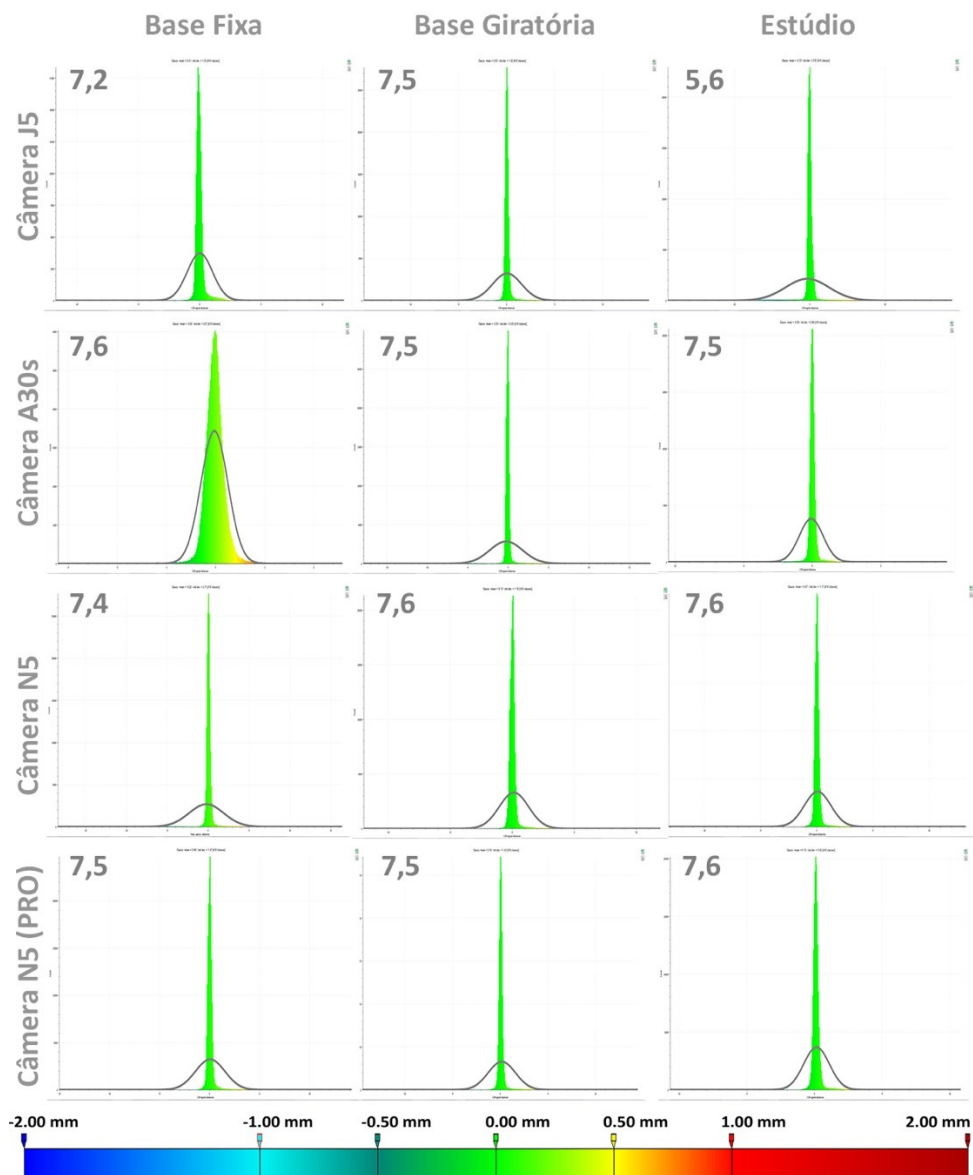


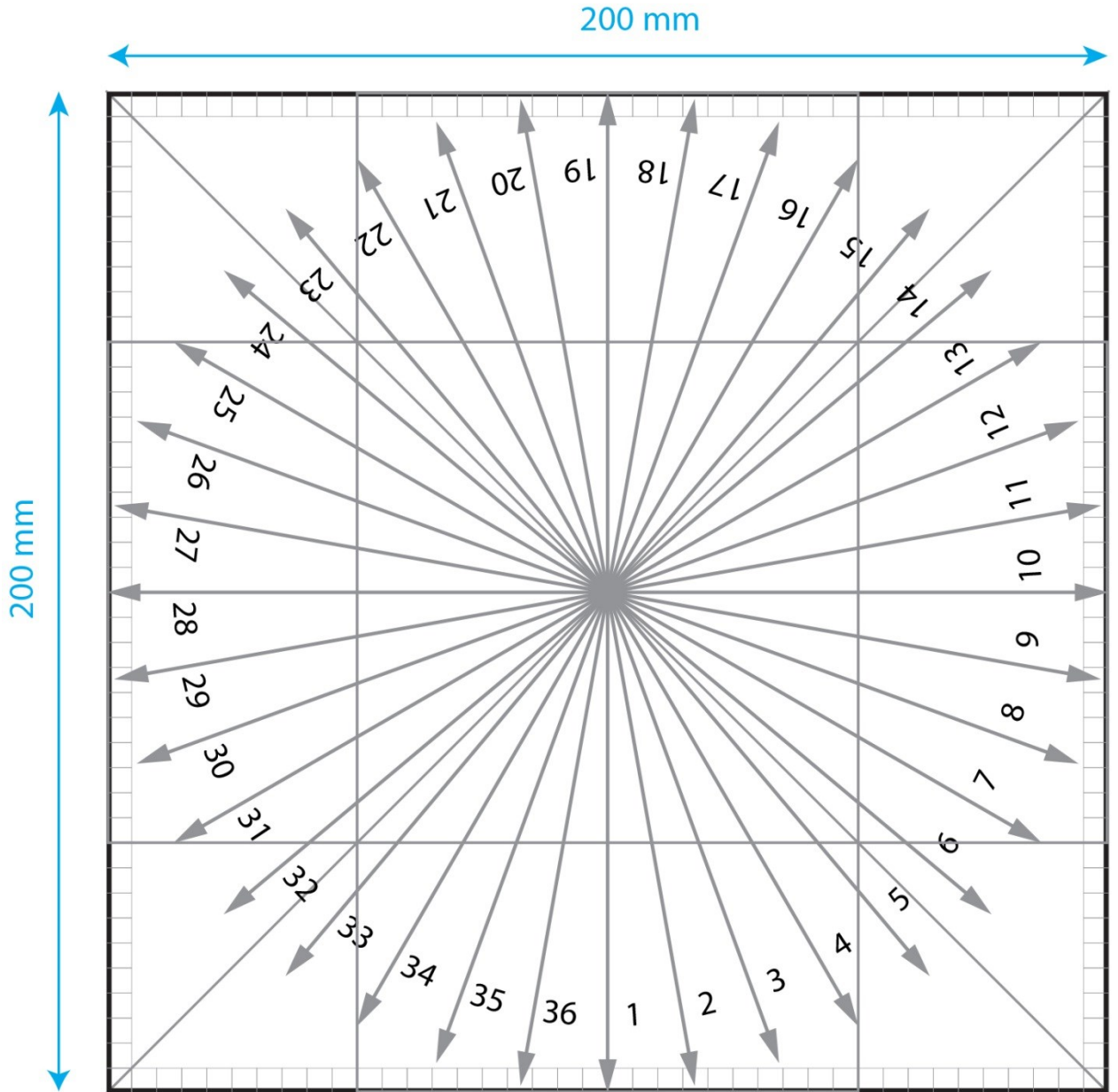
Figura 7 – Gráfico de distribuição normal (gaussiano) das distâncias aproximadas da pera.



Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE D – FOLHA DE REFERÊNCIA

Figura 1 – Folha de referência para coleta de fotos.



Fonte: elaborado pelo autor.