



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU

Bruno Bueno Bronzeri
Bruno Yuri Igarashi
Gabriel Mariano Gonçalves Santos
Leonardo dos Santos Schmitt

Relatório PE: Segunda Entrega

Blumenau
2025

1 FINALIDADE DO DOCUMENTO

Este documento tem como objetivo principal apresentar aos professores responsáveis pela disciplina de Projeto Especializado um relatório sobre o estado atual do desenvolvimento do Scanner 3D. Ressalta-se que neste documento serão apresentadas duas metodologias que foram abordadas pelo grupo, no qual foi realizada a divisão dos membros para pesquisar de fato, qual método possui melhor resultado.

2 HARDWARE E MATERIAIS

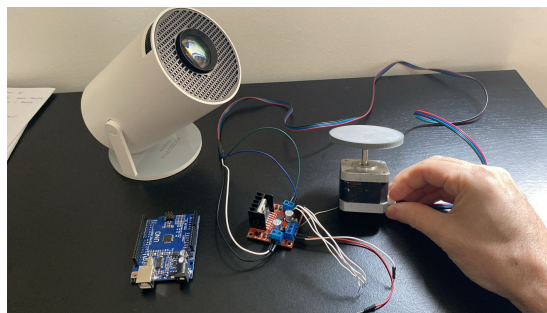
2.1 AQUISIÇÃO E SUBSTITUIÇÃO DE COMPONENTES

A aquisição de novos materiais e a troca de componentes foram necessárias para a melhoria do projeto. Entre os novos materiais adquiridos estão:

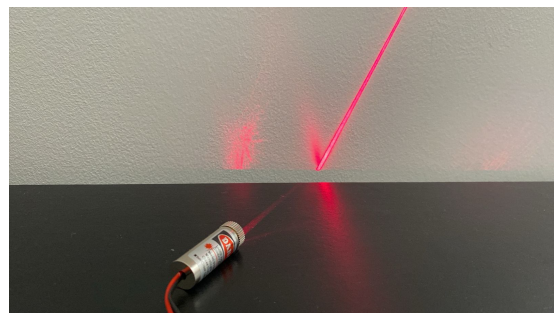
- Motor de passo Nema 17
- Ponte H
- Arduino Uno

Para a troca dos componentes existentes, foram incluídos um novo laser modelo MD-LSR650NM e um novo projetor modelo HY300Pro. Essas aquisições podem ser visualizadas na Figura 1.

Figura 1 – Componentes adquiridos.



(a) Novos Componentes



(b) Novo Laser

Fonte:Autores.

É importante destacar que a alteração dos componentes já existentes foi de suma importância, haja vista que o laser da marca DeWalt não pertencia aos autores. Além disso, o projetor utilizado em um primeiro momento não possuía alta qualidade.

Os demais componentes foram adicionados devido à automação da fotografia, pois, graças à utilização de um microcontrolador em conjunto com a ponte H e um motor Nema 17, foi possível controlar o ângulo de rotação. Dessa forma, quando se realiza a junção das imagens, torna-se possível a aplicação da matriz de rotação em X, por meio da somatória dos ângulos rotacionados para cada imagem. Entretanto, isso será explicado adiante.

2.2 MUDANÇAS NA ESTRUTURA

Uma mudança na estrutura onde será realizado o escaneamento do objeto foi necessária. A primeira mudança a se destacar é a utilização de dois anteparos, tanto na base quanto na parede da estrutura, conforme mostrado na Figura 2. Esses anteparos são

feitos de madeira pintada com tinta spray preto fosco. Isso foi necessário para melhorar a segmentação de cor e a identificação do objeto.

Figura 2 – Mudanças na estrutura.



(a) Estrutura sem Anteparos

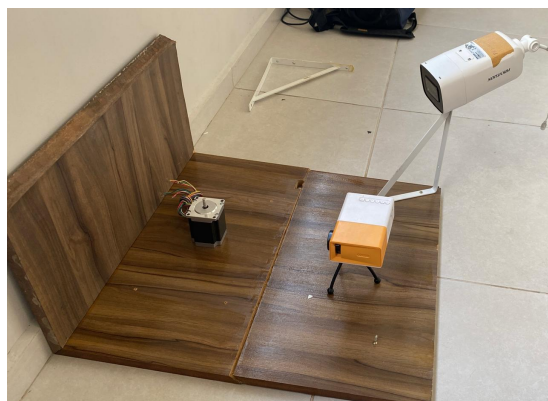


(b) Estrutura com Anteparos

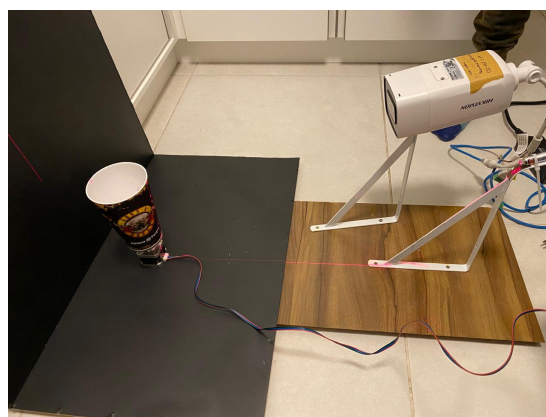
Fonte:Autores.

A segunda mudança refere-se à orientação da câmera. Conforme mostrado na Figura 3, no primeiro caso a câmera ficava a uma distância maior do laser/projetor. Já no segundo caso a câmera ficou mais próxima e menos angulada. Isso facilitou a aplicação não só do laser, mas também do projetor.

Figura 3 – Mudanças na posição da câmera.



(a) Posição Original



(b) Posição Nova

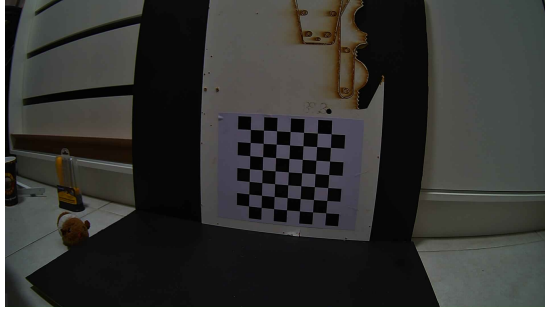
Fonte:Autores.

2.3 MUDANÇA DE FERRAMENTA PARA CALIBRAÇÃO

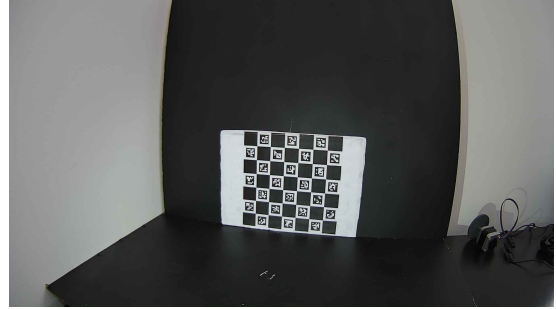
A calibração da câmera é algo de extrema importância para a funcionalidade do projeto. Percebeu-se que o uso do tabuleiro de xadrez 7x7, mostrado na Figura 4, estava causando dificuldades, pois o mesmo não corrigia adequadamente a distorção das bordas.

Diante disso, foi adotado o uso do Charuco board, uma combinação de tabuleiro de xadrez com marcadores ArUco. Esse método possibilitou a correção da distorção da câmera (Figura 5).

Figura 4 – Tabuleiros utilizados para calibração.



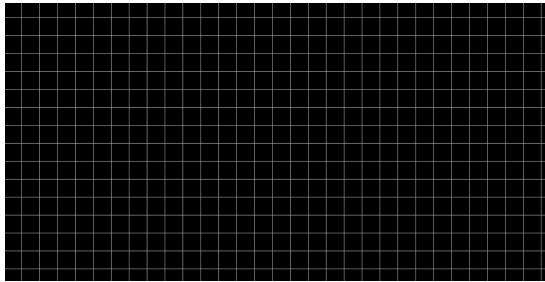
(a) Tabuleiro de Xadrez



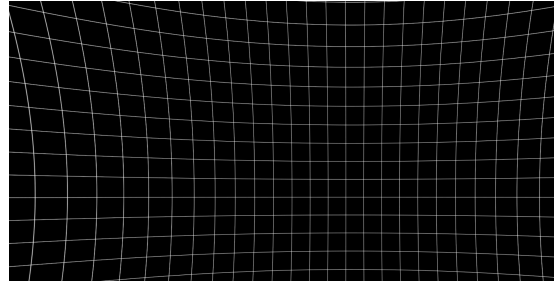
(b) Charuco Board

Fonte:Autores.

Figura 5 – Comparação de grids antes e depois da calibração.



(a) Grid com Distorção



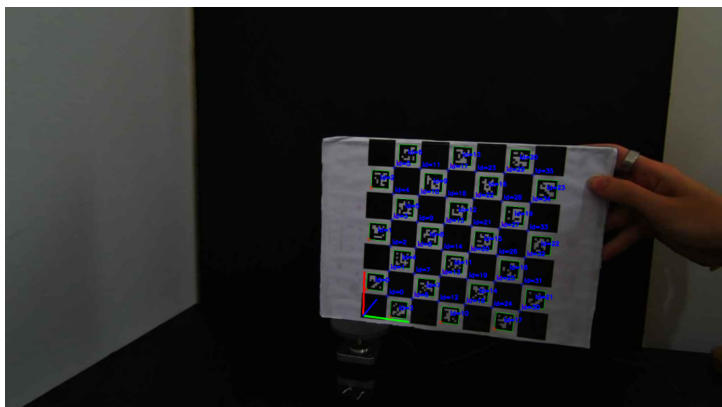
(b) Grid sem Distorção

Fonte:Autores.

A utilização do *Charuco board* ajudou os autores em dois pontos fundamentais do projeto. O primeiro foi a obtenção do centro de rotação, que ao ser posicionado retorna um vetor de translação e rotação em relação à posição de origem (o centro da câmera), conforme mostrado na Figura 6.

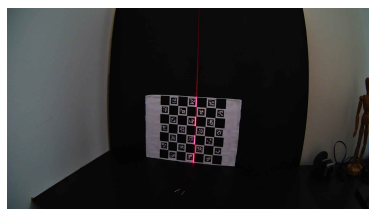
O segundo ponto é a estimação do plano do laser. Por meio de três fotos em que o laser incide no *Charuco board*, foi possível encontrar os vetores de translação e rotação, além dos pontos tridimensionais que formam a triangulação entre o laser e o raio da câmera (Figura 7).

Figura 6 – Centro de rotação no espaço 3D.

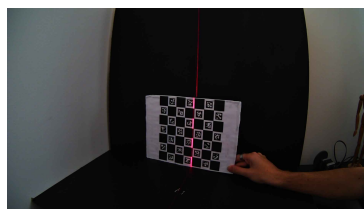


Fonte:Autores.

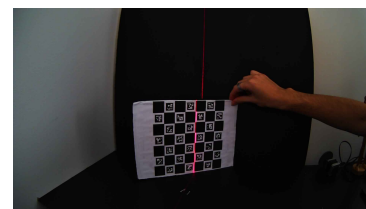
Figura 7 – Cenas com Laser e Charuco Board.



(a) Cena 1



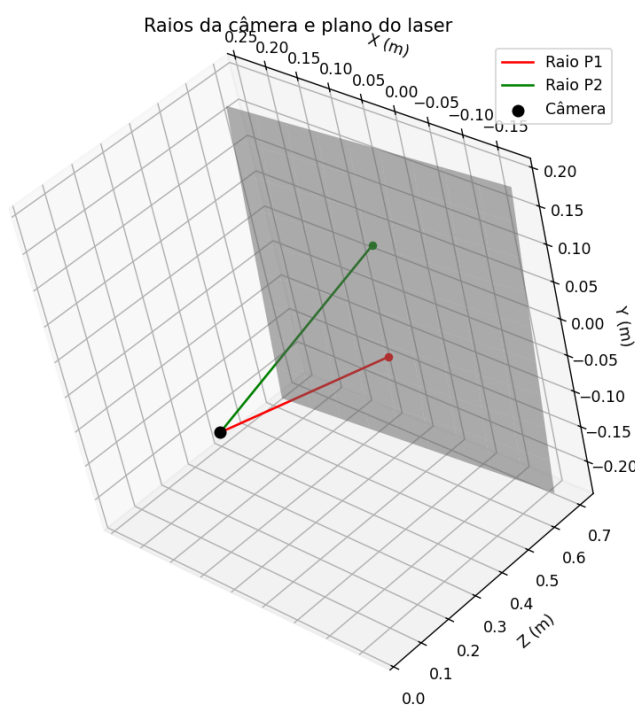
(b) Cena 2



(c) Cena 3

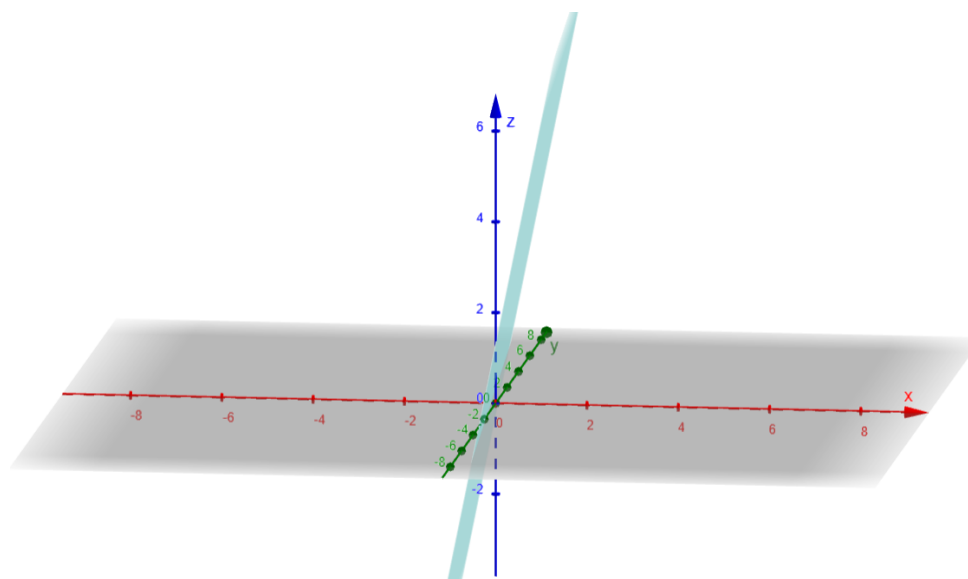
Fonte:Autores.

Figura 8 – Gráfico com raios da câmera e pixels no espaço 3D.



Fonte:Autores.

Figura 9 – Plano do laser no GeoGebra.



Fonte:Autores.

3 ENSAIOS E RESULTADOS COM LASER

Em vista do que foi apresentado anteriormente, após a calibração da câmera e a obtenção do plano e do centro de rotação, é possível inserir um objeto no centro do platô (que está acoplado ao motor) e ligar o laser incidindo sobre ele.

Na imagem abaixo estão três objetos que tiveram resultados satisfatórios, dentre todos os que foram utilizados, os quais serão abordados no próximo capítulo.

Os resultados do escaneamento podem ser visualizados nas imagens individuais de cada objeto. Nota-se que a obtenção das nuvens de pontos se deu de maneira boa, mas não ótima.

Figura 10 – Boneco e sua nuvem de pontos.



(a) Boneco real



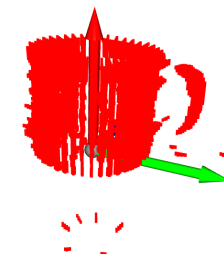
(b) Boneco escaneado

Fonte: os autores.

Figura 11 – Caneca e sua nuvem de pontos.



(a) Caneca real



(b) Caneca escaneada

Fonte: os autores.

Ressalta-se que para o caso desses objetos foi utilizada uma rotação entre 9 a 10 graus. Sendo assim, são necessárias cerca de 40 fotos para que o objeto seja reconstruído.

Figura 12 – Boneca e sua nuvem de pontos.



Fonte: os autores.

3.1 PROBLEMAS ENCONTRADOS E IDEIAS DE SOLUÇÕES

Conforme apresentado nos capítulos anteriores, é possível visualizar que, apesar da obtenção dos resultados, ainda não se tem o resultado desejado. Além disso, é necessário definir o método a ser seguido, assim como realizar o refinamento do projeto.

A primeira ideia consiste em seguir com a utilização do laser, haja vista que ele permite a obtenção rápida dos resultados, além de ter proporcionado os melhores já obtidos. Entretanto, existem alguns problemas em relação ao uso do mesmo.

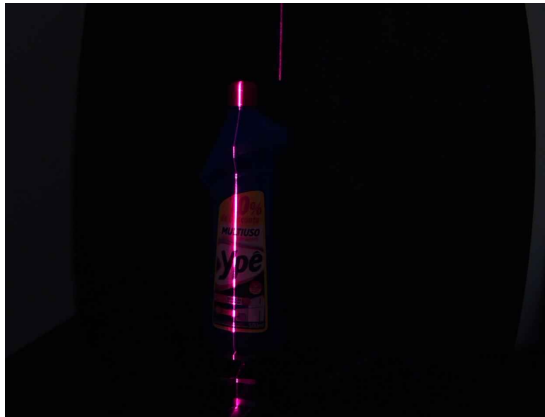
Entre esses pontos destaca-se a necessidade de um ambiente controlado, pois a iluminação em excesso pode prejudicar a segmentação de cor. Em vista disso, é necessário sempre configurar na câmera parâmetros como saturação, brilho, contraste e suavização.

Além disso, não só a iluminação do ambiente influencia, como também o tipo do objeto. Se o objeto for muito reflexivo ou tiver cores semelhantes ao vermelho, a segmentação não funciona adequadamente. Um exemplo disso pode ser visto na Figura 13, em que o objeto é muito reflexivo e a segmentação não funcionou em certas áreas do mesmo.

Sobre a segmentação de cor, destaca-se em todas as figuras apresentadas a existência de ruídos. Isso é problemático, pois cada objeto tem segmentações diferentes e, conforme varia a segmentação, varia também a captura de partes em vermelho que não são necessárias para a reconstrução do objeto, como por exemplo a parte do laser que incide no anteparo (atrás do objeto), conforme apresentado na figura da boneca de brinquedo (Figura 12b).

Ao considerar essa problemática em conjunto com a rotação do motor para objetos largos, como um brinquedo de uma flor de lótus conforme mostra a Figura 14, é possível ver que faltam áreas de contato no brinquedo. Em outras palavras, existem poucas fotos para representar o brinquedo e, conforme a segmentação é ajustada para ressaltar a reconstrução do brinquedo, o ruído aumenta. Esse problema ocorre devido ao objeto ser

Figura 13 – Litro de Ypê e sua nuvem de pontos.



(a) Litro real



(b) Litro escaneado

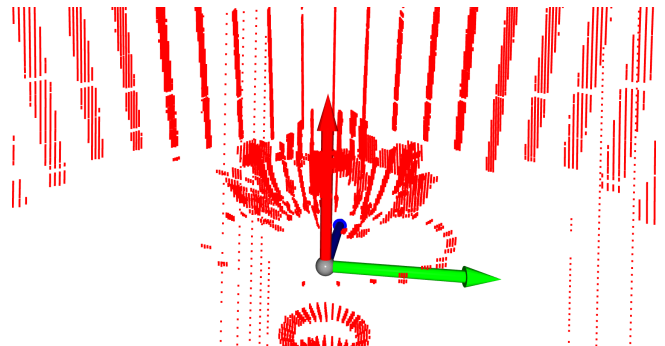
Fonte: os autores.

grande e, toda vez que os autores tiram uma foto e deslocam o objeto em 9 a 10 graus, ele acaba exercendo uma força maior sobre o motor, fazendo com que gire mais do que o esperado.

Figura 14 – Brinquedo de flor de lótus e sua nuvem de pontos.



(a) Flor real



(b) Flor escaneada

Fonte: os autores.

Em suma, o problema da segmentação de cor é uma questão que os autores estão buscando alternativas em artigos para resolver, seja na aplicação de kernels, melhoria na configuração da câmera, aproximação do laser aos objetos ou utilização de bounding box para focar apenas no objeto desejado. Entretanto, a utilização de bounding box limita em relação ao tamanho dos objetos, pois seria necessário utilizar objetos do mesmo tamanho para que se tenha um bounding box único.

Em relação aos objetos, serão utilizados aqueles que tendem a não ser reflexivos, totalmente escuros ou com cores próximas ao vermelho. Já em relação à rotação da câmera, os autores pretendem realizar filmagens ao invés de fotos. A ideia seria filmar o objeto rotacionando e, a partir da filmagem, extrair frames do vídeo que se relacionem com

ângulos menores do que os já utilizados, ou seja, de 1 a 2 graus ao invés de 9 ou 10.

Por fim, um ponto observado que não foi citado anteriormente é a orientação da câmera em relação ao objeto. Ao analisar a nuvem de pontos do boneco (Figura 10b), assim como do Ypê (Figura 15b), nota-se que quanto maior o objeto e mais próximo ao limite da imagem ele estiver, mais a distorção o afeta, fazendo com que pareça mais largo e baixo do que realmente é. Em vista disso, os autores estão considerando rotacionar a câmera para que a base do motor seja desconsiderada e a captura se concentre apenas no objeto.

4 ENSAIOS E TESTES COM PROJETOR

A geração de nuvem de pontos em 3D utilizando o projetor, requer uma abordagem que segue um caminho diferente após a calibração de câmera. Este requer, ao invés de estimar um plano, como no laser, é necessária uma calibração da imagem do projetor, a fim de localizar cada pixel projetado nos pixels da câmera .

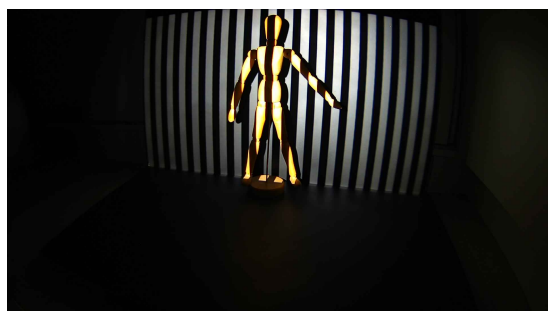
Esse processo ocorre por meio da projeção de padrões estruturados que consiste em incidir sobre o objeto um sequência de listras (*stripes*) codificadas e capturar essas projeções. Essa técnica baseia-se em triangulação óptica, onde cada *stripe* deve possuir sua estimação de equação do plano.

4.1 CALIBRAÇÃO DO PROJETOR

A calibração do projetor é modelada como uma câmera inversa, que gera padrões totalmente conhecidos sobre um tabuleiro físico. A câmera captura essa projeção, e, utilizando correspondências entre os pontos projetados e as posições reais no tabuleiro, calcula-se a matriz intrínseca e os parâmetros de distorção do projetor, bem como a pose relativa do projetor em relação à câmera. Isso define o sistema de triangulação: cada pixel do projetor correspondente um feixe no espaço assim como os pixels da câmera.

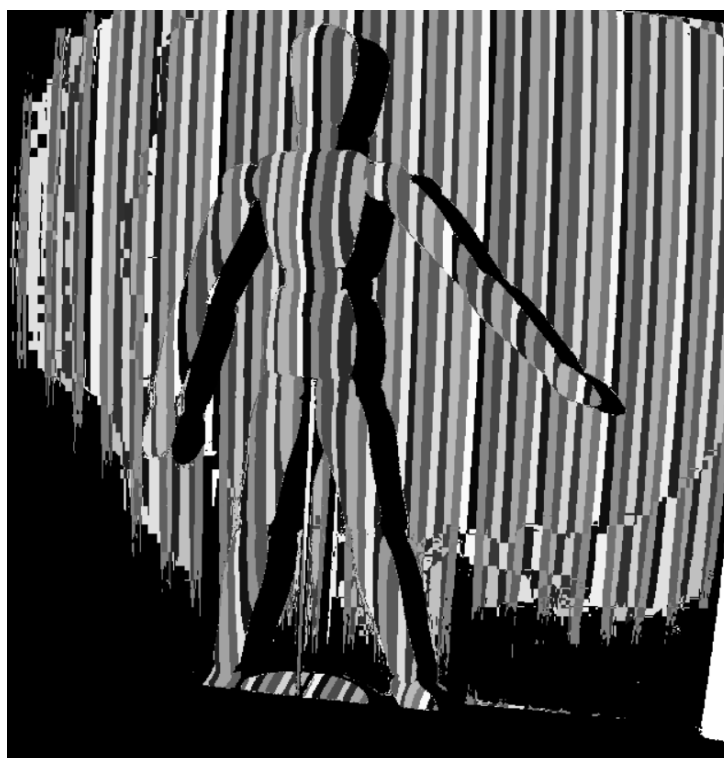
4.2 GERAÇÃO DE PADRÕES DE *STRIPES*

Durante a fase de aquisição, o projetor emite um conjunto de padrões estruturados consistindo em *stripes* de diferentes larguras, posições ou codificações (por exemplo *Gray Code* ou *Phase Shifting*). Esses padrões são projetados em sequência sobre o objeto, permitindo identificar independentemente cada região iluminada. Abaixo na Figura 15 é possível ver padrões de *stripes* incidindo sobre um objeto. Já na ?? é possível identificar o resultado de processamentos de imagem como limiarização, a fim de separar os *stripes* incididos em cada imagem para individualmente gerar uma nuvem de pontos, e posteriormente concatená-las, formando o objeto.

Figura 15 – Dois tipos de *stripes* incidindo sobre objeto.(a) Padrão com menos *stripes*(b) Padrão com mais *stripes*

Fonte:

os autores.

Figura 16 – Operações sobre imagem com *stripes*.

Fonte: Autores.