

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
CAMPUS TIMÓTEO**

Rodrigo Louzada Campos

**AVALIAÇÃO DO KIT DE DESENVOLVIMENTO TABLET GOOGLE  
TANGO: UM ESTUDO DE CASO DE SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO E  
NAVEGAÇÃO EM AMBIENTES INTERNOS**

**Timóteo**

**2017**

**Rodrigo Louzada Campos**

**AVALIAÇÃO DO KIT DE DESENVOLVIMENTO TABLET GOOGLE  
TANGO: UM ESTUDO DE CASO DE SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO E  
NAVEGAÇÃO EM AMBIENTES INTERNOS**

Monografia apresentada à Coordenação de Engenharia de Computação do Campus Timóteo do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Odilon Correa da Silva  
Coorientador: Jafri, R.; Ali, S.A.; Arabnia H.R.

Timóteo

2017

Rodrigo Louzada Campos

**AVALIAÇÃO DO KIT DE DESENVOLVIMENTO TABLET GOOGLE  
TANGO: UM ESTUDO DE CASO DE SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO E  
NAVEGAÇÃO EM AMBIENTES INTERNOS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Computação do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais para a obtenção do título de Engenheiro de Computação.

Trabalho aprovado. Timóteo, 13 de Dezembro de 2017:



---

Prof. Me. Odilon Corrêa Silva  
Orientador



---

Prof. Dr. Bruno Rodrigues Silva  
Professor Convidado



---

Prof. Me. Douglas Nunes de Oliveira  
Professor Convidado

Timóteo  
2017

# Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus, pois sem ele jamais teria conseguido realizar toda esta caminhada. Há muito o que percorrer, mas tenho certeza que Ele que me fortalece, da paz, saúde e sabedoria.

Agradeço à meus pais Valdo e Débora, exemplos de força, comprometimento e caráter. Como também à minha irmã Juliana pela cumplicidade e parceria.

Ao meu orientador Odilon Corrêa, pela paciência, dedicação e disponibilidade ao longo desta graduação. Também ao CEFET-MG por me proporcionar uma graduação de qualidade e em especial os professores Marcelo Balbino, Deisymar Botega, Júlio Onofre, Elder Rodrigues, Doulgas de Oliveira e Técnico Administrativo Wander Dias.

Aos meus coorientadores doutores Rabia Ali, Sayed Ali e doutor Hamid Arabnia, por expandir meus horizontes, acreditarem no meu potencial e me instigar a ser o meu melhor.

Agradeço à todos que me acompanharam nesta caminhada.

*“Pois o que você ouve e vê depende do lugar em que se coloca, como depende também de quem você é.”*

*C.S. Lewis*

# Resumo

Localização, nas últimas décadas, tem sido um ponto de interesse tanto na academia como no setor industrial. Com aparelhos GPS sendo amplamente utilizados em ambientes externos, mas com problemas de precisão em ambientes internos, tem-se buscado outras soluções para navegação com sistemas especializados, com grande precisão mas alto custo. Porém com a popularização e aprimoramento de aparelhos celulares, tem-se usado seus sensores para navegação precisa e de baixo custo. Este trabalho tem como objetivo avaliar os recursos do tablet Google Project Tango para identificar localização e rotas.

**Palavras-chave:** visão computacional, google tango, aprendizagem de área, mapeamento.

# Abstract

Localization, in the past decades, has been a topic of interest both in academia and in the industrial sector. With GPS devices being widely used in outdoors environments, but with problems of precision indoors, other solutions for navigation with specialized systems was proposed, having great precision but high cost. However with popularization and enhancement of mobile handsets, it has used its means for accurate navigation and low cost. This work aims to evaluate the resources of the Google Project Tango tablet to identify location and routes.

**Keywords:** computer vision, google tango, learning area, mapping.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Tablet Google Tango. . . . .	12
Figura 2 – Representação ilustrativa de diferenças entre características locais e globais. . . . .	14
Figura 3 – Representação do descritor SIFT para uma região 16x16 pixels para um array descritor 4x4 pixels. . . . .	16
Figura 4 – Representação de derivadas gaussianas de segunda ordem a esquerda e suas aproximações a direita. . . . .	16
Figura 5 – Exemplo prático de equivalência de características . . . . .	17
Figura 6 – Comparação de uma imagem de referência (primeira coluna) com uma sequência de imagens capturada em 1057 quadros. . . . .	18
Figura 7 – Diagrama funcionamento do protótipo. . . . .	22
Figura 8 – Telas do protótipo. . . . .	24
Figura 9 – Ambiente de teste. Figura A: Planta primeiro andar bloco B, figura B: corredor esquerdo, figura C: Faixada de vidro, figura D: Corredor direito. . . . .	25
Figura 10 – Ilustração de mapeamento com rotação. . . . .	27
Figura 11 – Representação da diferença de luz natural. . . . .	28
Figura 12 – Representação da angulação. . . . .	30
Figura 13 – Ambientes testados: Figura A: Ambiente mapeado, Laboratório de computadores 2; Figura B: Ambiente levemente alterado, Laboratório de computadores 2; Figura C: Sala similar, Laboratório de engenharia de software. . . . .	31
Figura 14 – Salas similares: Figura A: Ambiente mapeado, Sala Coordenação Engenharia; Figura B: Sala Coordenação Informática; Figura C: Sala Coordenação segundo andar. . . . .	32
Figura 15 – Rota sala ao banheiro. . . . .	33
Figura 16 – Sequência captura de tela da navegação. . . . .	33

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
1.1	Problema e sua importância	10
1.2	Objetivos	11
1.2.1	Objetivo geral	11
1.2.2	Objetivo específico	11
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>12</b>
2.1	Google Tango	12
2.2	Detecção de características	13
2.2.1	Definições	14
2.3	Identificação de características	15
2.3.1	Scale Invariant Feature Transform (SIFT)	15
2.3.2	Speeded-Up Robust Features Descriptor (SURF)	16
2.4	Equivalência de características	17
2.5	Rastreamento de características	17
<b>3</b>	<b>ESTADO DA ARTE</b>	<b>19</b>
3.1	Localização em ambientes interno	19
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>22</b>
5.1	Especificações	22
5.2	Protótipo	22
<b>6</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b>	<b>25</b>
6.1	Estudo de caso 1	25
6.2	Estudo de caso 2	30
6.3	Estudo de caso 3	32
6.4	Discussões de resultados	34
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>36</b>
7.1	Trabalhos futuros	36
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>37</b>

# 1 Introdução

Sistemas de localização e navegação permitem que qualquer pessoa possa se localizar no planeta com uma precisão nunca imaginada há até bem pouco tempo. Seja em grandes centros comerciais onde clientes buscam uma marca específica, em restaurantes, em exposições de arte onde é necessário que os espectadores encontrem as pinturas de um determinado artista, turistas em grandes aeroportos e assim por diante.

Em se falando de sistemas específicos para rastreamento e localização, uma ferramenta proeminente e vastamente utilizada são aparelhos GPS. Este se popularizou juntamente com a evolução dos celulares e aplicativos de mapeamento tornando-se até indispensável para algumas pessoas se locomoverem em grandes cidades ou em viagens. Contudo, a precisão do mesmo não é o suficiente para localização em ambientes internos. Zandbergen and Bardeau, em testes relativos a precisão de aparelhos telefônicos com GPS, encontraram um erro médio horizontal de 5 a 8.5 metros em testes ao ar livre, e constataram ainda erro de 30 metros ao ar livre e 100 metros em ambientes fechados (ZANDBERGEN; BARBEAU, 2011)

Embora localização e navegação externa tenha sido realizada com precisão e sucesso utilizando GPS, a localização interna ainda deixa um problema em aberto. Mais especificamente, com GPS não há garantias que funcione bem em um ambiente fechado devido ao bloqueio de sinais de satélite. Além disso, requer maior precisão na localização para identificar a posição dos usuários.

Inicialmente sistemas para rastreamento requeriam equipamentos especializados para cada atividade. Nomeado pelo termo em inglês *Mobile Sensing Platform* (MSP) e definido por T. Choudhury *et al.* como um pequeno dispositivo vestível projetado para reconhecimento de atividades incorporado com o objetivo de apoiar aplicações computacionais ubíquos de contexto<sup>1</sup> (CHOUDHURY *et al.*, 2008). Essas aplicações devem ser instaladas e reguladas manualmente para cada usuário, tendo alto custo, este campo de pesquisa acabou por se estagnar.

Na última década trabalhos foram realizadas com o objetivo de propor e avaliar soluções neste contexto. Com a popularização dos aparelhos celulares, a sua evolução em capacidade de processamento, munidos de sensores tais como GPS, Wifi, câmera, acelerômetro, giroscópio entre vários outros, estes sensores combinados propiciam uma gama de novas aplicações em diversos campos de atuação e foram explorados em diversos estudos. Entre outros, podem ser citados:

1. Sistema de navegação que utiliza microfone (TARZIA *et al.*, 2011);
2. Sistema de navegação que utiliza magnetômetro (SUBBU; GOZICK; DANTU, 2013);

<sup>1</sup> Texto original da definição: The MSP is a small wearable device designed for embedded activity recognition with the aim of broadly supporting context-aware ubiquitous computing applications.

3. Sistema de navegação que utiliza WiFi (PARK et al., 2010);
4. Sistema de navegação que utiliza uma combinação de Wifi, Bluetooth, GSM (BOLLIGER, 2008);
5. Sistema de navegação que utiliza uma combinação de microfone, câmera, acelerômetro, Wifi (AZIZYAN; CONSTANDACHE; CHOUDHURY, 2009);
6. Sistema de navegação que utiliza uma combinação de microfone, acelerômetro, compasso, giroscópio, WiFi (WANG et al., 2012);

Contudo, ainda existem barreiras quanto as soluções encontradas. Mesmo com o uso de aparelhos celulares e tablets que atualmente é amplamente difundido, segundo o IBGE em seu senso em 2015 averiguou que 16,3% de domicílios particulares permanentes do País tinham tablet e 78,3% da população do País possui telefone móvel celular para uso pessoal (IBGE, 2015). Há complicações quanto a implementação do sistema em grande escala devido a dificuldade de implementar a infraestrutura necessária como diversos pontos de rede WiFi, impedimentos quanto a falta de acurácia do sistema, como também sistemas que apenas auxiliam a localização mas não a navegação nos ambientes.

Com o lançamento do tablet *Google Project Tango* em 2015, tem sido aplicado em pesquisas e desenvolvimento de novas aplicações voltado a visão computacional, mapeamento e localização. Com potente hardware, tendo processador Nvidia Tegra K1, Câmera de rastreamento de movimento, Detecção de profundidade 3D, acelerômetro, barômetro, bússola, GPS, giroscópio entre outros. Esforços tem sido focados em suas capacidades de realidade aumentada, seja em jogos como *Domino World*<sup>2</sup>, simulações para ensino como *Solar Simulator for Tango*<sup>3</sup>, uso de realidade aumentada por lojas de departamento para auxiliar na escolha e compra de seus itens<sup>4</sup>. Além de aplicações, pesquisas baseadas no kit de desenvolvimento do *Google Project Tango* na parte de reconhecimento 3D (MATURANA; SCHERER, 2015), reconstrução e mapeamento 3D (KLINGENSMITH et al., 2015) entre outros.

## 1.1 Problema e sua importância

Havendo necessidade de inovações para auxílio na localização e navegação, o lançamento do tablet Google Tango, tendo alta capacidade de processamento, ferramentas proprietárias, baixo custo e alta portabilidade traz uma possível solução de ferramenta para mapear ambientes e criar rotas auxiliando a navegação tanto em ambientes internos como externos com um equipamento de baixo custo e de grande mobilidade. Doutro modo, este tablet é um protótipo para desenvolvedores e portanto necessita de investigação de suas capacidades, aplicações e usabilidade.

<sup>2</sup> **Domino World**. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.schellgames.dominoworld>

<sup>3</sup> **Solar Simulator for Tango**. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=tech.solarsimulator.app>

<sup>4</sup> **Lowe's Vision**. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.lowes.vision>

## 1.2 Objetivos

Os objetivos deste trabalho foram divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral e motivador deste trabalho é avaliar os recursos do tablet *Google Project Tango* em relação as suas funcionalidades disponíveis para o desenvolvimento de um sistema de navegação e localização em ambientes internos. Para isso foi explorado e avaliado as tecnologias do dispositivo, tais como aprendizagem de área.

### 1.2.2 Objetivo específico

Com a intenção de formular respostas com intuito de atingir o objetivo geral, este trabalho também possui os seguintes objetivos específicos:

- Investigar os recursos do kit de desenvolvimento;
- Explorar recursos para mapear ambientes internos;
- Explorar recursos para detecção e identificação de objetos;
- Especificar um sistema de mapeamento e navegação em ambientes internos;
- Desenvolver um protótipo do mecanismo especificado;
- Avaliar o funcionamento do protótipo por meio de estudos de caso.

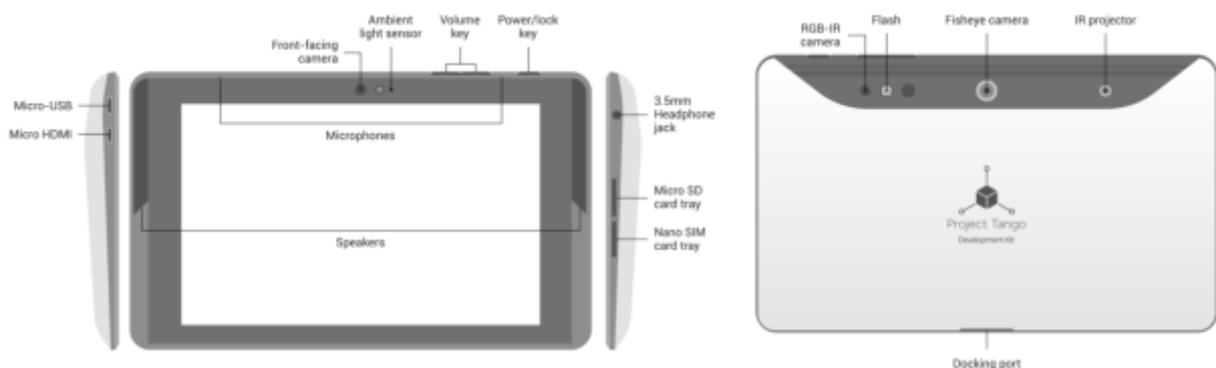
## 2 Fundamentação Teórica

### 2.1 Google Tango

Google lançou em 2015 o Project Tango, um tablet portando uma variedade de tecnologias de ponta que tem como principal diferencial a capacidade de compreender sua localização no mundo real. Vindo munido com os seguintes módulos e sensores:

- Câmera 4 MP 2 $\mu$ m RGB-IR pixel sensor;
- Câmera frontal 1 MP, foco fixo;
- Wi-Fi (2.4GHz/5GHz) WiFi 802.11 a/b/g/n;
- NFC;
- Conectividade LTE, HSPA+, 3G, 2G, GSM, EDGE;
- Acelerômetro;
- Sensor de luz ambiente;
- Barômetro;
- Compasso;
- GPS;
- Giroscópio.

Figura 1: Tablet Google Tango.



Fonte: (GOOGLE, 2017) - Adaptado pelo autor.

Tango é uma plataforma que, se utilizando de técnicas em visão computacional, identifica o seu posicionamento em relação ao mundo ao seu redor. Tango traz aos aparelhos moveis este tipo de habilidade utilizando três pontos centrais: Percepção de profundidade, aprendizagem de área e rastreamento de movimento.

- i. **Percepção de profundidade:** Faz-se o uso da tecnologia infra vermelho para detectar profundidade, fazendo o calculo da distancia com base em *Structured Light* ou *Time of Flight* (tempo de voo) onde este projetada luz infra vermelho para estimar a profundidade com base na forma como a luz é moldada por objetos no ambiente (GRZEGORZEK et al., 2013). Percepção de profundidade fornece a habilidade de calcular distâncias entre tablete e objetos, e entre dois ou mais objetos no cenário. Ao combinar Percepção de profundidade com o rastreamento de movimento, o dispositivo pode medir distâncias entre pontos em uma área que não está no mesmo quadro. Também pode-se combinar em uma nuvem de pontos os dados de cor da câmera e assim criar texturas e reconstruções 3D do ambiente. .
- ii. **Rastreamento de movimento:** O rastreamento de movimento em tempo real tem muitas aplicações em diversos campos, desde a realidade virtual até a medicina. Atualmente, existem várias tecnologias de rastreamento fundamentais, como rastreamento mecânico, rastreamento eletromagnético, rastreamento acústico, rastreamento óptico e rastreamento inercial/magnético como dito em (ZHU; ZHOU, 2004). O rastreamento de movimento permite que um dispositivo compreenda seu movimento à medida que ele se move através de uma área. As APIs (Interface de Programação de Aplicativos) da Google fornecem a posição e a orientação do dispositivo do usuário em seis graus de liberdade. Este rastreamento apresenta limitações, tais como em longas distâncias e períodos de tempo, o acúmulo de pequenos erros pode causar medições levemente deslocadas, levando a erros maiores em posição absoluta.
- iii. **Aprendizagem de área:** A aprendizagem de área é muito semelhante ao conceito de visual-SLAM em robótica (KERL; STURM; CREMERS, 2013). Dando ao dispositivo a capacidade de ver e lembrar as principais características visuais de um espaço físico tais como bordas, cantos, entre outros pontos, para que possa reconhecer essa área novamente. Para tal, armazena uma descrição matemática dos recursos visuais identificados no dispositivo. Isso permite que o dispositivo combine rapidamente o que vê atualmente com o que viu e armazenou previamente.

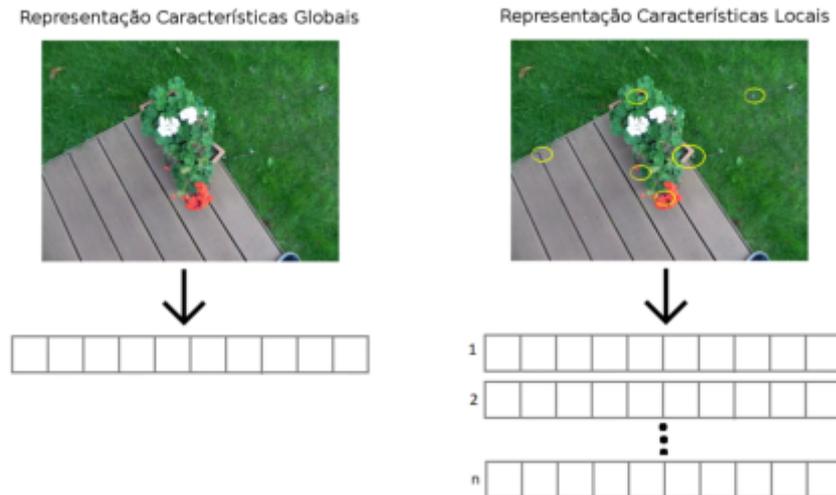
## 2.2 Detecção de características

Detecção de características é um problema fundamental e de grande importância em visão computacional. Detecção de características, ou em inglês *Feature Detection*, se refere a identificação de primitivas em imagens (pontos, linhas, curvas, quinas e regiões) tendo como propósito de realçar pontos de interesse. Esta técnica vem se popularizando e sendo aplicada em diferentes áreas, tais como representação de imagem (YAP; JIANG; KOT, 2010), reconstrução 3D (MOREELS; PERONA, 2005), classificação de textura (LAZEBNIK; SCHMID; PONCE, 2005), sistemas biométricos (FARAJZADEH; FAEZ; PAN, 2010), rastreamento de movimento (RINCON et al., 2011), localização (VALGREN; LILIENTHAL, 2010) e reconhecimento de objetos (ANDREOPOULOS; TSOTSOS, 2013)

### 2.2.1 Definições

A visão humana consegue extrair varias informações rapidamente em uma imagem, como por exemplo a presença de animas, a quantidade de pessoas presente na foto entre outras informações. No entanto, para programas de computadores reconhecerem certas informações são utilizados dois principais métodos, o método de características globais, e método de características locais.

Figura 2: Representação ilustrativa de diferenças entre características locais e globais.



Fonte: (BASTIAANDEROO, 2017) - Adaptado pelo autor

Em características globais, a imagem é representada por um vetor unidimensional, podendo conter cores, textura ou forma. Onde diferentes imagens resultam em diferentes vetores, como por exemplo comparar o vetor de cores em uma imagem de um deserto (proeminentemente marrom) e uma imagem de um campo (proeminentemente verde). Este método é vantajoso por ser fácil e rápido de se computar e requer pouca memória, porém é pouco robusto, onde imagens distintas podem gerar vetores similares.

Características locais entretanto, como definido por Tuytelaars e Mikolajczyk, e em tradução livre para o português<sup>1</sup>, como um padrão de imagem que difere de sua vizinhança (TUYTELAARS; MIKOLAJCZYK, 2008). Visa representar a imagem observando diferentes pontos proeminentes na imagem, chamados de regiões de interesse. Ou seja, deseja-se obter um conjunto de medidas locais que capturam a essência das imagens e que representem estruturas interessantes.

Observando a Figura 2, pode-se perceber o quão bem eles podem ser comparados, áreas com pouca ou nenhuma textura se tornam quase impossível de se localizar corretamente. Áreas com grade contraste são mais fácil de se localizar o correspondente, contudo, segmentos com linhas em mesmo sentido sofrem do problema de abertura (FREEMAN; PASZTOR; CARMICHAEL, 2000) (SIMONCELLI; ADELSON; HEEGER, 1991) (URAS et al., 1988).

<sup>1</sup> Texto original definição de características locais: *A local feature is an image pattern which differs from its immediate neighborhood.*

Detectores e extratores de características devem ter certas propriedades, sabendo que estas propriedades dependem das configurações reais da aplicação. As seguintes propriedades são importantes para a utilização de um detector de características em aplicações de visão computacional:

- **Robustez:** o algoritmo de detecção de características deve ser capaz de detectar os mesmos locais de características independentes de deslocamento, rotação, escalonamento, deformações fotométricas, artefatos de compressão e ruído.
- **Repetibilidade:** o algoritmo deve ser capaz de detectar as mesmas características da mesma cena ou objeto repetidamente sob várias condições de visualização.
- **Precisão:** deve localizar com precisão os recursos da imagem (mesmos locais de pixel), especialmente para tarefas de correspondência de imagens.
- **Eficiência:** deve ser capaz de detectar recursos em novas imagens rapidamente para suportar aplicativos em tempo real.
- **Quantidade:** o algoritmo deve ser capaz de detectar a totalidade ou a maioria dos recursos na imagem. Onde, a densidade de recursos detectados deve refletir o conteúdo da informação da imagem para fornecer uma representação de imagem compacta.

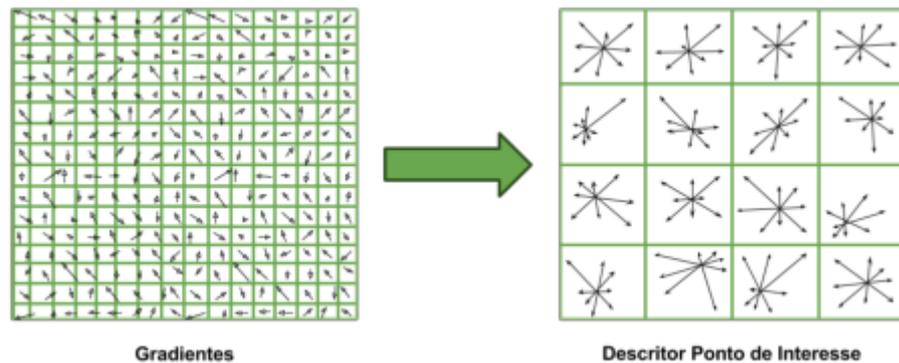
## 2.3 Identificação de características

Após detectar os pontos de interesse (*keypoints*) em uma imagem, deve-se então codificar o ponto *P* e sua vizinhança, de uma forma na qual possa ser encontrado correspondências futuramente, codificado de uma maneira robusta indiferente à mudanças e deformações (rotação, escala, etc). Pode-se encontrar diversas maneiras na literatura de realizar tal tarefa: *Scale Invariant Feature Transform* (LOWE, 2004), *Speeded-Up Robust Features Descriptor* (BAY et al., 2008) são exemplos amplamente utilizados.

### 2.3.1 Scale Invariant Feature Transform (SIFT)

Em tradução livre, Transformada de características invariantes em escala utiliza diferença de gaussianas (DOG) para encontrar os keypoints na imagem. Em cada ponto de interesse é extraído um vetor, onde a orientação da imagem é estimada. Então é computado um descritor, é construído um histograma do gradiente de orientação nos pontos ao redor de cada ponto de interesse. SIFT utiliza várias escalas da mesma imagem, onde seu algoritmo calcula o gradiente de magnitude e orientação em uma região 16x16 ao redor de cada keypoint utilizando as escalas para selecionar o nível de desfoque gaussiano para a imagem. Então, um conjunto de histogramas contendo amostras de sub-regiões da vizinhança original, sub-regiões essas 4x4 da original, o que gera um conjunto contendo oito orientações em cada.

Figura 3: Representação do descritor SIFT para uma região 16x16 pixels para um array descritor 4x4 pixels.



Fonte: Elaborado pelo autor.

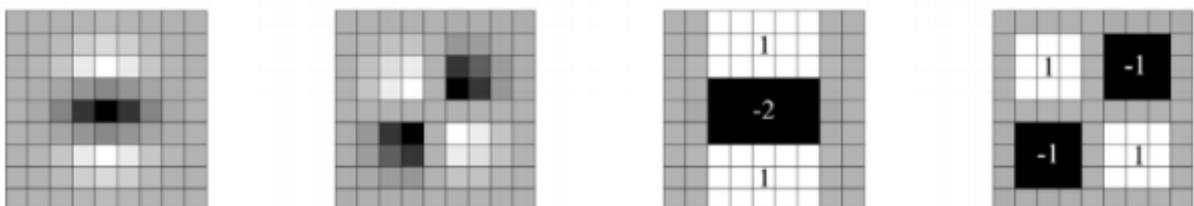
A representação SIFT foi desenvolvida para evitar problemas provenientes das mudanças de *boundary effects*, orientação e escala para não causar mudanças drásticas no vetor. Além, é relativamente compacto, descrevendo uma região utilizando 128 elementos. Se mostrando resiliente às transformações tais as quais causadas por mudança de perspectiva. Porém SIFT se mostra problemático por sua grande dimensionalidade, no qual afeta o custo computacional para calcular o descritor. Algumas mudanças ao trabalho inicial foram propostas, tais como PCA-SIFT (KE; SUKTHANKAR, 2004) para reduzir sua grande dimensionalidade ou ainda ASIFT (MOREL; YU, 2009).

### 2.3.2 Speeded-Up Robust Features Descriptor (SURF)

Diferentemente do SIFT, não se baseando em derivadas gaussianas ideais, mas em simples filtros 2D, SURF é uma opção rápida e robusta.

Separando áreas em caixas, utiliza a aproximação de derivadas gaussianas de segunda ordem. Utiliza a determinante da matriz hessiana para determinar ambos escala e localização.

Figura 4: Representação de derivadas gaussianas de segunda ordem à esquerda e suas aproximações à direita.



Fonte: (BAY et al., 2008)

Seu descritor é obtido por uma região ao redor dos keypoints, e como representado na Figura 4, é subdividida em quatro regiões 4x4 pixels, e para cada região a derivada Haar é calculada em pontos amostrados 5x5. Para aumentar a robustez dessas respostas são balanceadas com a gaussiana do ponto de interesse. Os resultados calculados por Haar são somados a cada sub-região e inseridos em um vetor.

Realizando tais cálculos para todas as regiões, são gerados um descritor de 64 dimensões, e este é normalizado em um vetor unitário para reduzir problemas derivados de iluminação. Sendo assim, obtemos um descritor relativamente pequeno, com resultados robustos em relação à variação de translação, rotação e diferenças por iluminação.

## 2.4 Equivalência de características

Após detectar os pontos de interesse deve-se então determinar pontos de equivalência, ou seja, quais pontos vem de pontos correspondentes em diferentes imagens. De maneira generalista, para se estabelecer correspondências entre duas imagens, obtém-se um conjunto de pontos de interesses e seus descritores de ambas imagens e então busca estabelecer equivalências entre essas imagens. Supondo que um ponto qualquer  $p$  seja um ponto detectado como associado a um descritor.

$$\Phi(p) = \{\phi_k(p) | k = 1, 2, \dots, K\} \quad (2.1)$$

Onde, para todo  $K$ , o vetor de características fornecido pelo  $k$ -ésimo descritor é

$$\phi_k(p) = (f_{1p}^k, f_{2p}^k, f_{3p}^k, \dots, f_{nkp}^k) \quad (2.2)$$

O objeto é encontrar a melhor correspondência  $q$  em outra imagem com um conjunto de  $N$  pontos de interesse  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_N\}$  comparando com o vetor  $\phi_k(p)$  com os pontos no conjunto  $Q$

Figura 5: Exemplo prático de equivalência de características



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma paridade entre os keypoints  $(q, p)$  é aceita somente se  $p$  é a melhor equivalência para  $q$  em relação a todos os pontos da outra imagem e  $q$  é a melhor equivalência para  $q$  em relação a todos os pontos da outra imagem. Neste contexto, devemos procurar sempre por algoritmos eficientes.

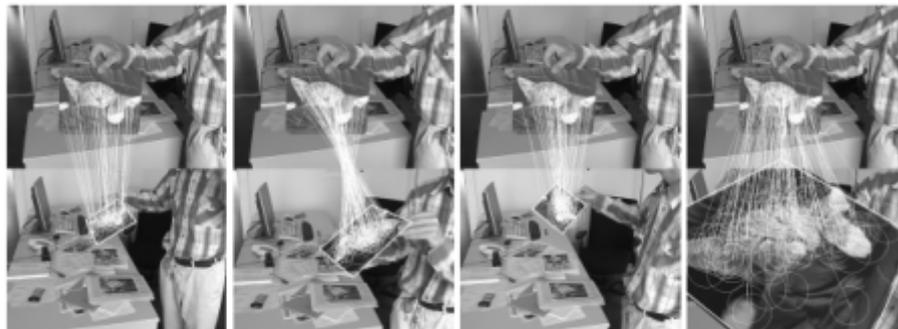
## 2.5 Rastreamento de características

Em aplicações as quais se utilizam vídeos, uma abordagem diferente de encontrar características equivalentes nas imagens subsequentes, é a abordagem de rastreamento, a qual

detecta e então rastreia estes pontos. A seleção de boas características é semelhante a escolhas para aplicações de reconhecimento em geral. Porém, tendo o mesmo ponto analisado por longos períodos, em longas sequências de imagens, estas podem sofrer muitas variações. Uma solução seria comparar a região originalmente escolhida à próximas imagens utilizando por exemplo um modelo de movimento paramétrico, pois lidam mais do que apenas problema de traslado. Shi e Tomasi em seu trabalho *Good features to track* (SHI; TOMASI, 1994) no qual discutem escolha de bons pontos para realizar o rastreamento, e propõe uma solução de comparar a região primeiramente utilizando um modelo translacional e utilizar a localização estimada por este para então, por outros modelos, relacionar a região no quadro atual com o quadro base, aquele que foi encontrado inicialmente o keypoint em questão.

Este trabalho de Shi e Tomasi fomentou uma gama de trabalhos, como por exemplo (PILET; LEPETIT; FUA, 2008) onde demonstra detecção de característica de uma forma extremamente rápida e confiável, obtendo boa precisão em vídeos com rápidos movimentos entre vários outros estudos.

Figura 6: Comparação de uma imagem de referencia (primeira coluna) com uma sequencia de imagens capturada em 1057 quadros.



Fonte: (OZUYSAL et al., 2010)

## 3 Estado da arte

O principal objetivo deste capítulo é apresentar os fundamentos históricos, teóricos e metodológicos sobre os quais esta pesquisa é executada, além de mapear os principais e mais recentes trabalhos em tecnologia de localização em ambientes internos. As seções seguintes reúnem os principais e mais recentes trabalhos que versam sobre tecnologias para assistir na localização de usuários em ambientes internos, detecção de objetos, localização de obstáculos ou localização espacial.

### 3.1 Localização em ambientes interno

Um tópico de interesse crescente em pesquisas na área acadêmica e industrial, impulsionada com o avanço de desempenho e funcionalidade dos aparelhos celulares, é a localização em ambientes internos. Com o advento dos aparelhos celulares e tablets, sistemas dedicados para localização em ambientes interno com alto grau de precisão vem sendo substituídos por soluções com o uso dos sensores encontrados nestes dispositivos. Varias soluções propõe o uso de diferentes sensores tais como giroscópio, compasso, WiFi, Bluetooth, câmera, entre outros como uma alternativa de baixo custo.

Algumas soluções se baseiam em apenas um sensor, como o proposto por (TARZIA et al., 2011), aonde se propõe o uso do microfone em um aparelho celular, no qual capta-se o espectro acústico (*Acoustic Background Spectrum*) do ambiente e o compara em um banco de dados com outros espectros registrados, aonde, havendo um espectro comparável registrado então retornará ao usuário a sala na qual ele se encontra. Esta solução embora não necessite de infraestrutura física para o seu funcionamento, este depende do uso constante de seus usuários para que tenha uma base robusta e maior precisão.

Outro exemplo de uso de apenas um sensor em uma abordagem diferente é o **LocateMe** (SUBBU; GOZICK; DANTU, 2013), no qual com o uso do magnetômetro presente em smartphones, assinaturas magnéticas são coletadas dentro de prédios. Tendo em vista que estruturas metálicas como vigas, elevadores, corrimão entre outras provocam pequenos distúrbios no campo magnético, estas variações podem indicar a localização do usuário em um estabelecimento.

Um sensor comumente utilizado em pesquisa é o modulo WiFi do aparelho, em (PARK et al., 2010) é proposto o sistema *OIL (Organic Indoor Location)* no qual este captura periodicamente assinaturas de fontes sem fio próximas ao usuário. O sinal é comparado com um mapa da força do sinal, mapa este armazenado em um servidor, o qual é criado de forma assíncrona e colaborativa. No qual, não se localizando, pede ao usuário para indicar sua localização.

Outras soluções utilizam múltiplos sensores para se localizar de maneira mais robusta. **Redpin** (BOLLIGER, 2008) é um sistema que utiliza além de modulo WiFi, também faz uso de Bluetooth e GSM. Não necessitando de uma fase de treinamento prévio, utilizando outra

abordagem no qual o sistema se adapta conforme uso.

Outras combinações foram exploradas, como por exemplo em **SurroundSense** (AZIZYAN; CONSTANDACHE; CHOUDHURY, 2009) que utiliza som, luz e cor do ambiente, captadas por meio do uso da câmera e microfone criando uma assinatura foto acústica do ambiente. Já em (WANG et al., 2012) propõe o sistema *UnLoc* que utiliza acelerômetro, compasso, giroscópio e WiFi para se localizar, e também é possível rastrear o caminho percorrido pelo usuário.

A seguinte tabela é um resumo dos artigos citados nesta seção, explicitando os sensores usados, precisão de cada sistema ou erro médio:

Tabela 1: Resumo de sensores, erro médio em metros e precisão relativa em porcentagem dos sistemas citados.

Sistema	Sensor	Erro médio (m)	Precisão (%)
Batphone	Microfone	N/A	69
LocateMe	Magnetômetro	4.5	90
OIL	WiFi	5	N/A
Redpin	Wifi, Bluetooth, GSM	3	90
SurroundSense	Microfone, Câmera, Acelerômetro, WiFi	N/A	87
UnLoc	Acelerômetro, Compasso, Giroscópio, WiFi	1.69	N/A

Fonte: Elaborado pelo autor.

(DIAKITÉ; ZLATANOVA, 2016) utilizando do Google Tango, explorou sua habilidade de mapeamento 3D em ambientes interno, utilizando de nuvens de pontos para reconstrução de modelos 3D, reconhecimento de planos; áreas livres e aberturas. Fez considerações quanto sua capacidade para reconstrução do ambiente, e possibilidade de sua utilização para navegação em ambientes internos com base em modelos 3D.

Outro estudo, (GÜLCH, 2016) analisa as funcionalidades do Google Tango, como sua habilidade para mapeamento e reconstrução 3D, avaliando sua precisão por meio de teste de aplicações nativas como o aplicativo *MeasureIT*. Avaliando outros aplicativos concluíram o estudo afirmando que o pacote de sensores é de qualidade bastante alta, mas não ainda plenamente explorado devido ao fato de seu recente lançamento para desenvolvedores.

## 4 Metodologia

Para a realização da pesquisa a respeito de conteúdos teóricos/práticos utilizou-se os seguintes materiais: dissertações, livros, artigos técnicos, teóricos e científicos acessíveis no portal da Capes e na internet.

Para o desenvolvimento do protótipo proposto foram usados os seguintes recursos:

- Kit de desenvolvimento Google Tango;
- Plataforma Unity 5.4.1;
- Tango SDK para Unity versão 1.54 Ikarotikos Junho 2017;
- Linguagem de programação C#.

Os procedimentos metodológicos são organizados nas seguintes etapas:

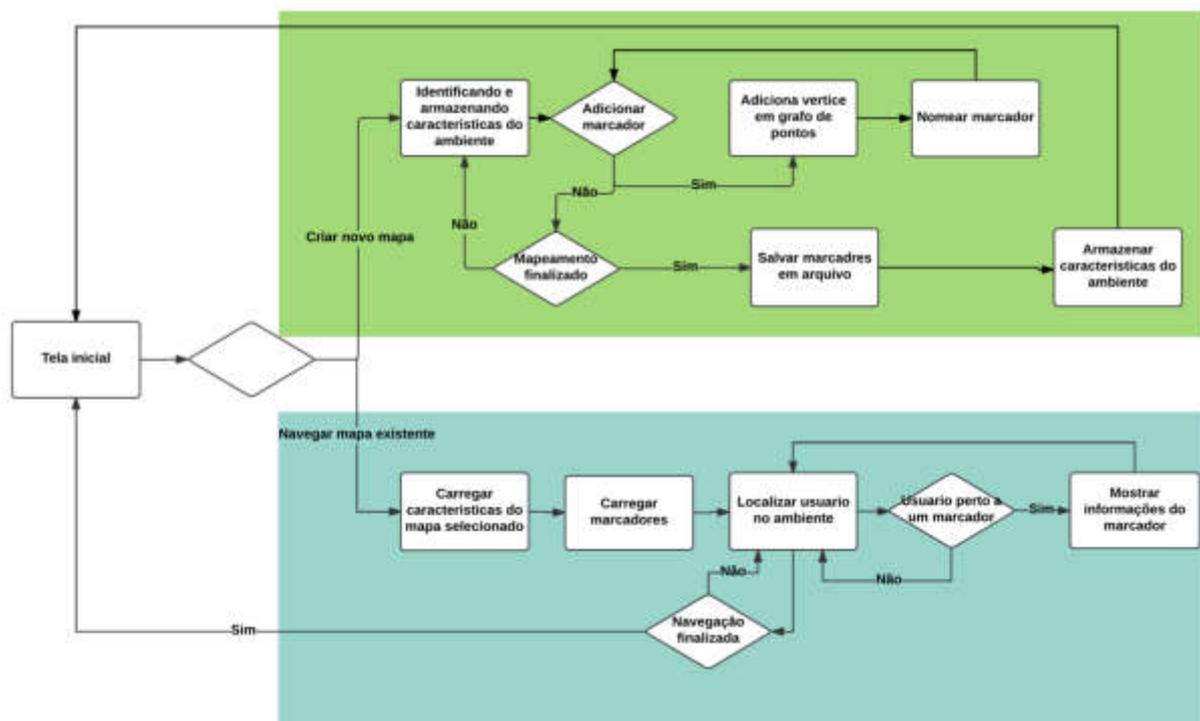
1. Reunir e estudar os principais trabalhos;
2. Estudo da ferramenta;
3. Projetar e implementar protótipo;
4. Avaliar os resultados;
5. Avaliar o desempenho.

# 5 Desenvolvimento

## 5.1 Especificações

Tendo o propósito de validar as funcionalidades de localização e mapeamento foi realizado um levantamento de requisitos durante a especificação do sistema proposto e suas funcionalidades foram divididas em dois módulos, sendo estes mapeamento e navegação. Como demonstrado pelo diagrama a seguir.

Figura 7: Diagrama funcionamento do protótipo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O protótipo se divide em duas partes, sendo elas a etapa de mapeamento, e conseqüente, a etapa de localização. Primeiramente deve-se mapear um ambiente, aonde será salvo as características do ambiente e marcadores em relação às características. Estes marcadores são tratados como pontos em um grafo para futuramente poder criar rotas e guiar usuários em ambientes mapeados.

## 5.2 Protótipo

### 1. Mapeamento

**Identificando e armazenando características do ambiente:** Parte integrante do sistema é a aprendizagem de área. Aonde se inicia a Detecção de características, e se

identifica uma série de primitivas nas imagens. Utilizando a plataforma de desenvolvimento Unity, estas características são relacionadas com coordenadas virtuais.

**Adicionar vértice:** Tendo a intenção de auxiliar a navegação de usuários, pode-se adicionar marcadores. Estes marcadores servem para demarcar pontos de interesse no ambiente. Estes marcadores são adicionados a um grafo, para poder auxiliar a navegação do usuário futuramente. Ao adicionar um marcador, pode-se inserir alguma informação para que seja exibida ao usuário quando este se aproximar do marcador quando em modo de navegação. Ainda sobre o grafo de marcadores, pode-se implementar um sistema de rotas, aonde em modo de navegação, o usuário poderá inserir o destino desejado, e este retornar uma rota, guiando o usuário de seu ponto atual, ao destino desejado.

**Salvar:** Ao selecionar o botão de salvar o mapeamento, após nomeado o mapeamento, os descritores das características e marcadores e suas informações são armazenadas.

## 2. Navegação

**Carregar mapa selecionado:** São carregados os arquivos relacionados ao mapa selecionado para navegação, arquivo contendo os descritores, e o arquivo contendo as informações sobre os marcadores.

**Localização do usuário no ambiente:** Ao carregar os descritores do ambiente mapeado, começa o processo de equivalência de características, aonde busca encontrar equivalências entre as características salvas e as características do ambiente em quadro. Encontrando equivalências, inicia então o rastreamento de características, aonde a localização do usuário já foi reconhecida, inclusive sua posição em relação às coordenadas virtuais. O usuário pode se movimentar pelo ambiente, e com os dados de rastreamento de características e rastreamento de movimento, aonde se utiliza os dados de giroscópio e acelerômetro juntamente com o rastreamento de características para determinar a posição do usuário.

**Proximidade aos marcadores:** Tendo localizado a localização do usuário, sabe-se sua posição em relação às coordenadas virtuais. Carregado os marcadores em suas coordenadas virtuais, é possível verificar se o usuário está na área de um marcador, e então mostrar em tela informações do marcador.

Figura 8: Telas do protótipo.



Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode se observar na figura acima, a tela inicial é composta por uma lista, aonde pode selecionar mapeamentos já criados, e botões para iniciar um novo mapeamento, ou iniciar navegação do mapa selecionado na lista. Selecionando a opção de iniciar mapeamento, basta selecionar um tipo de marcador: aviso, ponto de interesse ou ponto, e pode inserir alguma informação sobre o marcador a ser inserido. Caso selecionado a opção de navegação, ao entrar em contato com um marcador, será exibido em tela informações sobre o marcador em questão.

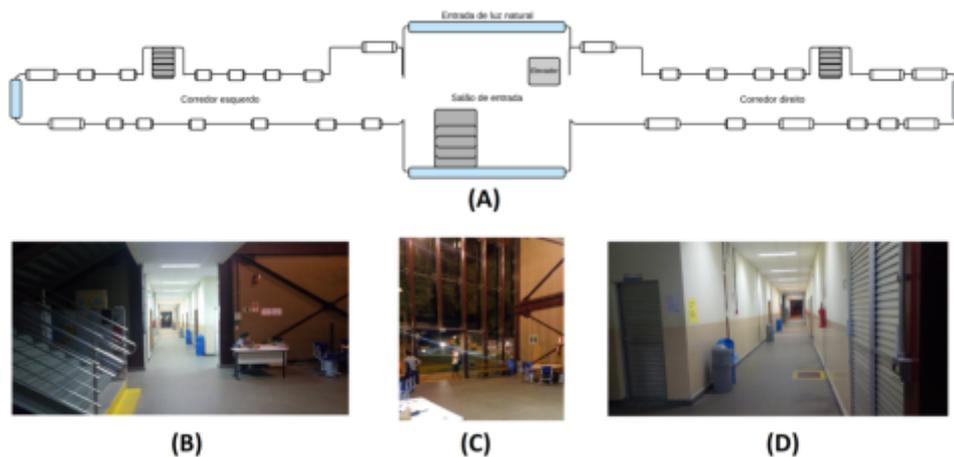
O estudo de caso foi avaliado quantitativamente em relação a falsos positivos ou a não localização dos marcadores e sua precisão quanto ao posicionamento do mesmo em relação ao mundo real. Foi elaborado então 3 casos de testes para tal averiguação.

## 6 Estudo de caso

### 6.1 Estudo de caso 1

Os testes foram localizados no primeiro andar do bloco B no CEFET-MG campus Timóteo, cenário composto por um salão principal com faixa de vidro a qual permite grande incidência de luz natural por grande parte do dia, tendo dois corredores com 156 centímetros de largura, paredes com cores monotônicas e poucos cartazes colados esparsamente pelos corredores, portas e lixeiras padrões.

Figura 9: Ambiente de teste. Figura A: Planta primeiro andar bloco B, figura B: corredor esquerdo, figura C: Faixada de vidro, figura D: Corredor direito.



Fonte: Elaborado pelo autor

Os testes foram conduzidos com o tablet a uma altura aproximadamente de 160 centímetros do chão, nível do peitoral.

- Teste 1: Navegação

Mapeamento do corredor esquerdo, a um passo lento e constante sempre seguindo o mesmo sentido, saída lateral esquerda ao salão principal. Parando e adicionando marcadores em todas as portas. Corredor vazio e com iluminação mista com luz natural e artificial.

Após a criação do mapa, foi testado seguindo a mesma direção no qual foi realizado o mapeamento. Foi repetido este teste três vezes.

Houve um cenário o qual um grupo de 5 alunos entraram em cena o qual ocasionou um deslocamento momentâneo dos marcadores, sendo automaticamente reposicionado após estes saíram de cena não impactando a navegação.

Tabela 2: Tabela de resultados teste 1 seguindo mesmo sentido de mapeamento.

<b>Marcadores criados</b>	<b>Marcadores precisamente exibidos</b>	<b>Falso positivos</b>
18	18	0
18	18	0
18	18	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já a navegação em direção contrária ao mapeamento, foi averiguado mau posicionamento de marcadores, portas sendo erroneamente apontadas até marcadores não apresentados.

Tabela 3: Tabela de resultados teste 1 seguindo sentido contrario de mapeamento.

<b>Marcadores criados</b>	<b>Marcadores precisamente exibidos</b>	<b>Falso positivos</b>
18	6	11
18	2	10
18	6	12

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Teste 2: Velocidade

Utilizado mapeamento do teste 1.

Após a criação do mapa, foi testado seguindo a mesma direção no qual foi realizado o mapeamento. Foi repetido este caso três vezes em diferentes velocidades.

Tabela 4: Navegação em diferentes alturas.

<b>Altura (cm)</b>	<b>Pontos mapeados</b>	<b>Marcadores precisamente exibidos</b>	<b>Falso positivos</b>
caminhada lenta	18	18	0
caminhada moderada	18	18	0
caminhada rápida	18	18	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Realizar navegação em diferentes velocidades, de uma passada lenta a uma caminhada rápida, não interfere na localização precisa dos marcadores.

- Teste 3: Mapeamento longo

Criando um novo mapeamento, do primeiro andar, seguindo as mesmas métricas do primeiro teste. Iluminação mista, passada reduzida, sempre voltado à mesma direção.

Seguindo a mesma direção de criação do mapa, houve casos aonde alguns alunos entraram em cena separadamente, e diferentemente do grupo de alunos, apenas uma pessoa não afetou a localização dos marcadores.

Tabela 5: Tabela de resultados teste 2 seguindo mesmo sentido de mapeamento.

Marcadores criados	Marcadores precisamente exibidos	Falso positivos
28	28	0
28	28	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

De igual modo ao teste 1, em navegação em direção contrária ao mapeamento, foi averiguado mau posicionamento de marcadores, portas sendo erroneamente apontadas até marcadores não apresentados.

Tabela 6: Tabela de resultados teste 2 seguindo sentido contrario de mapeamento

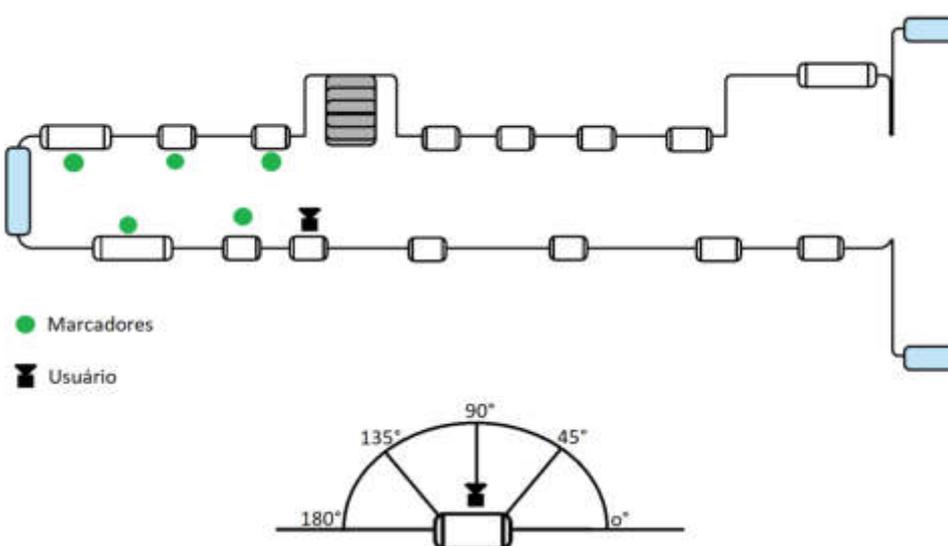
Marcadores criados	Marcadores precisamente exibidos	Falso positivos
28	6	21
28	4	22

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Teste 4: Mapeamento aprimorado

Buscando criar um conjunto de pontos robusto e um melhor mapeamento, mudou-se a metodologia de mapeamento dos testes anteriores aonde agora em cada ponto a se marcar, realizar uma rotação de 180 graus ao redor do marcador. Como representado pela ilustração a seguir.

Figura 10: Ilustração de mapeamento com rotação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Seguindo a mesma direção em que o mapa foi criado e em sentido contrario geraram os seguintes resultados:

Tabela 7: Tabela de resultados teste 3 seguindo sentido de mapeamento.

Marcadores criados	Marcadores precisamente exibidos	Falso positivos
26	26	0
26	26	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 8: Tabela de resultados teste 3 seguindo sentido contrario de mapeamento

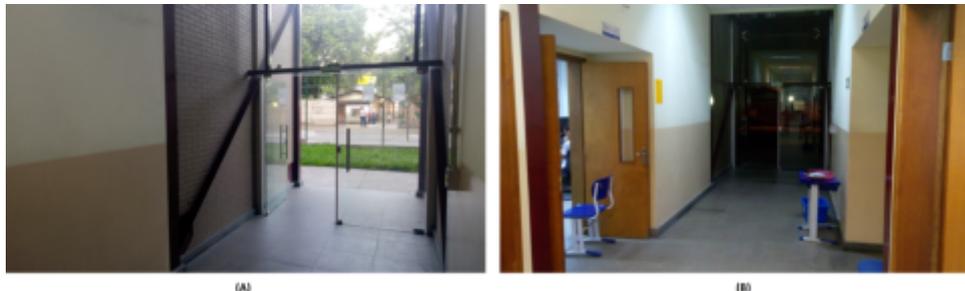
Marcadores criados	Marcadores precisamente exibidos	Falso positivos
26	26	0
26	26	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Teste 5: Variação de luminosidade

Visando verificar a robustez em relação à variação de luminosidade, foi-se utilizado o mapeamento utilizado no teste 3, este que foi criado com o ambiente sendo iluminado por luz natural e artificial, e testado de maneira similar ao teste 3 porem, em um momento sem luz solar, com o ambiente sendo iluminado apenas por iluminação artificial.

Figura 11: Representação da diferença de luz natural.



Fonte: Elaborado pelo autor

Neste teste, na terceira vez realizando o teste um estudante estava em cena, em média 3 metros a frente do tablet andando em mesma direção, andando em passada similar ao tablet. Neste caso, com o advento de uma pessoa constantemente em cena, o posicionamento dos marcadores foram afetados, aonde estes se deslocavam fora de posição por um segundo e reposicionado corretamente repetidas vezes enquanto o estudante estava em cena.

Navegando em mesmo sentido que o mapeamento.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Navegando em sentido contrário ao mapeamento, em uma das repetições, um grande grupo de estudantes passou pelo cenário causando um mau posicionamento dos marcadores, e diferentemente do teste 1, foi necessário se movimentar pelo ambiente para que o sistema pudesse se relocalizar.

Tabela 9: Tabela de resultados teste 3 seguindo sentido de mapeamento

<b>Marcadores criados</b>	<b>Marcadores precisamente exibidos</b>	<b>Falso positivos</b>
26	26	0
26	26	0
26	26	0

Tabela 10: Tabela de resultados teste 3 seguindo sentido contrario de mapeamento

<b>Marcadores criados</b>	<b>Marcadores precisamente exibidos</b>	<b>Falso positivos</b>
26	26	0
26	26	0
26	26	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Teste 6: Variação de altura

Criado o mapeamento de maneira similar ao terceiro teste, testou-se a robustez do sistema com a variação de altura, segurando o tablet para navegação em diferentes alturas ao que o mapa foi criado. O que gerou o seguinte resultado:

Tabela 11: Navegação em diferentes alturas

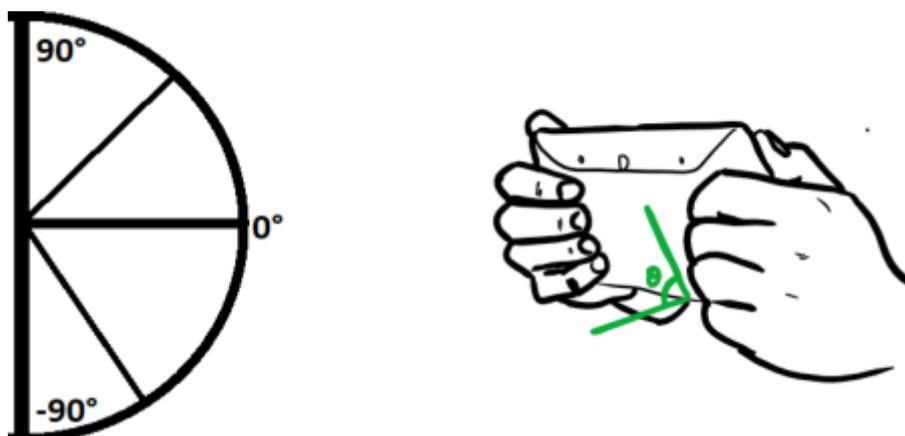
<b>Altura (cm)</b>	<b>Pontos mapeados</b>	<b>Marcadores precisamente exibidos</b>	<b>Falso positivos</b>
120	18	18	0
160	18	18	0
180	18	18	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Teste 7: Variação de angulação

Criado o mapeamento de maneira similar ao terceiro teste, neste teste buscou averiguar a robustez de localização quando segurando o tablet em um angulo diferente o qual o mapeamento foi criado. Esta variação de angulação em relação ao próprio eixo do tablet, como representado a seguir.

Figura 12: Representação da angulação.



Fonte: (JAFRI et al., 2017) - Adaptado pelo autor

A seguinte tabela mostra os resultados obtidos mudando a angulação positivamente:

Tabela 12: Navegação em diferentes ângulos positivos.

Angulo	Pontos mapeados	Marcadores precisamente exibidos	Falso positivos
15°	18	16	0
30°	18	16	0
45°	18	12	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguinte tabela mostra os resultados obtidos mudando a angulação negativamente:

Tabela 13: Navegação em diferentes ângulos negativos.

Angulo	Pontos mapeados	Marcadores precisamente exibidos	Falso positivos
-15°	18	14	4
-30°	18	12	6
-45°	18	12	4

Fonte: Elaborado pelo autor.

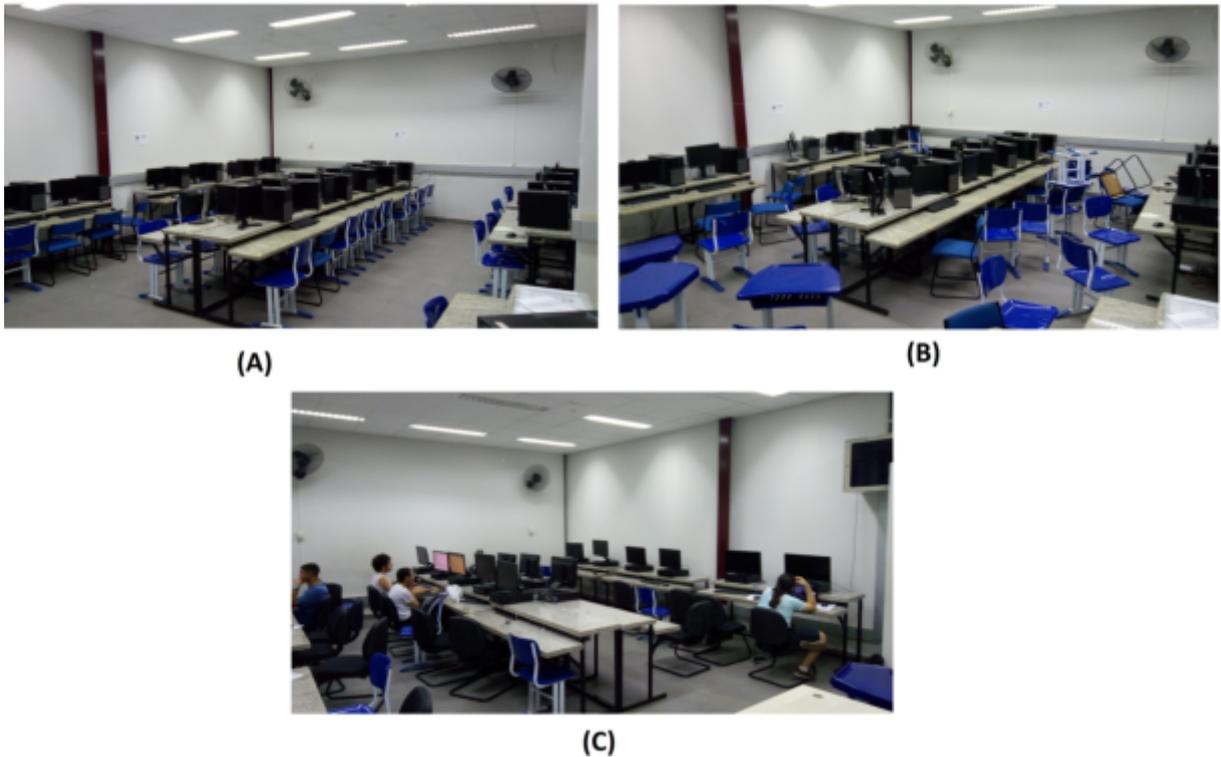
## 6.2 Estudo de caso 2

Testes realizados em diferentes salas do bloco B no CEFET-MG campus Timóteo. Neste estudo de caso foram selecionados dois laboratórios com estrutura similar, e três escritórios com layout similar. Este estudo visa compreender o comportamento do sistema em ambientes visualmente parecidos.

- Teste 1: Laboratório computação

Um laboratório foi mapeado, com marcadores posicionados em três locais distintos. Após mapeado, foi verificado a marcação correta no mesmo ambiente, como os marcadores no mesmo ambiente são afetados por itens do ambiente em diferentes posições, e por fim em outro laboratório, mas com estrutura semelhante, a presença de falsos positivos.

Figura 13: Ambientes testados: Figura A: Ambiente mapeado, Laboratório de computadores 2; Figura B: Ambiente levemente alterado, Laboratório de computadores 2; Figura C: Sala similar, Laboratório de engenharia de software.



Fonte: Elaborado pelo autor

A seguinte tabela mostra os resultados obtidos:

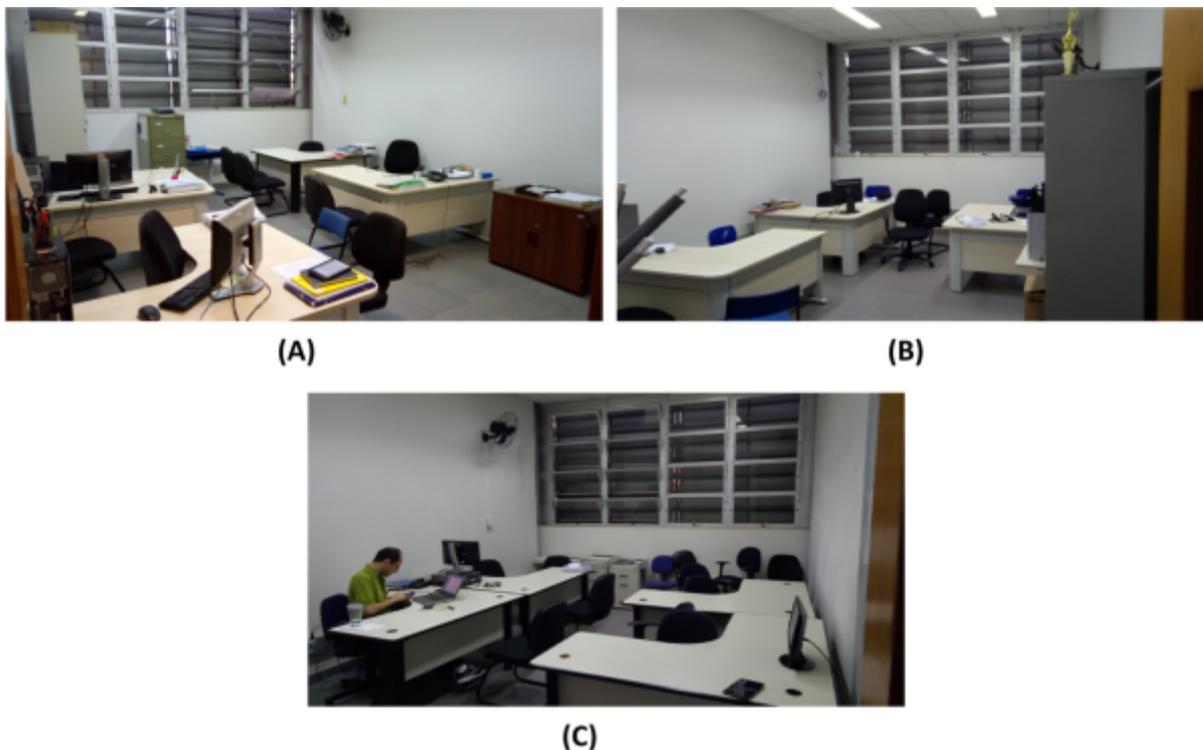
Tabela 14: Testes laboratório de informática.

1-4 Sala	Pontos mapeados	Marcadores precisamente exibidos	Falso positivos
Sala mapeada	3	3	0
Sala alterada	3	3	0
Sala similar	3	0	3

Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste teste, um escritório foi mapeado, posicionando um marcador por mesa. Após mapeado, foi verificado a marcação correta no mesmo ambiente, e a presença de falsos positivos em outros dois escritórios similares ao mapeado.

Figura 14: Salas similares: Figura A: Ambiente mapeado, Sala Coordenação Engenharia; Figura B: Sala Coordenação Informática; Figura C: Sala Coordenação segundo andar.



Fonte: Elaborado pelo autor

A seguinte tabela mostra os resultados obtidos:

Tabela 15: Testes escritórios.

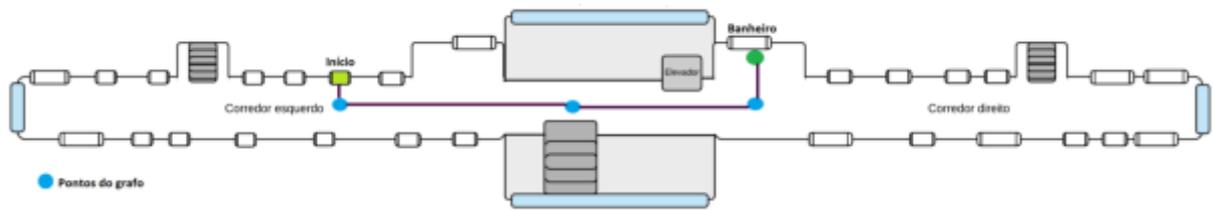
1-4 Escritório	Pontos mapeados	Marcadores precisamente exibidos	Falso positivos
Coordenação	4	4	0
Informática	4	3	1
Segundo andar	4	0	4

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 6.3 Estudo de caso 3

Outro aspecto da navegação deste sistema seria a capacidade de criar rotas, e retornar informações de modo que este consiga seguir as informações e chegar a uma predeterminada localidade. Fazendo uso de aprendizagem de área e detecção de movimento, foi elaborado uma rota iniciando em uma sala, com o destino no banheiro.

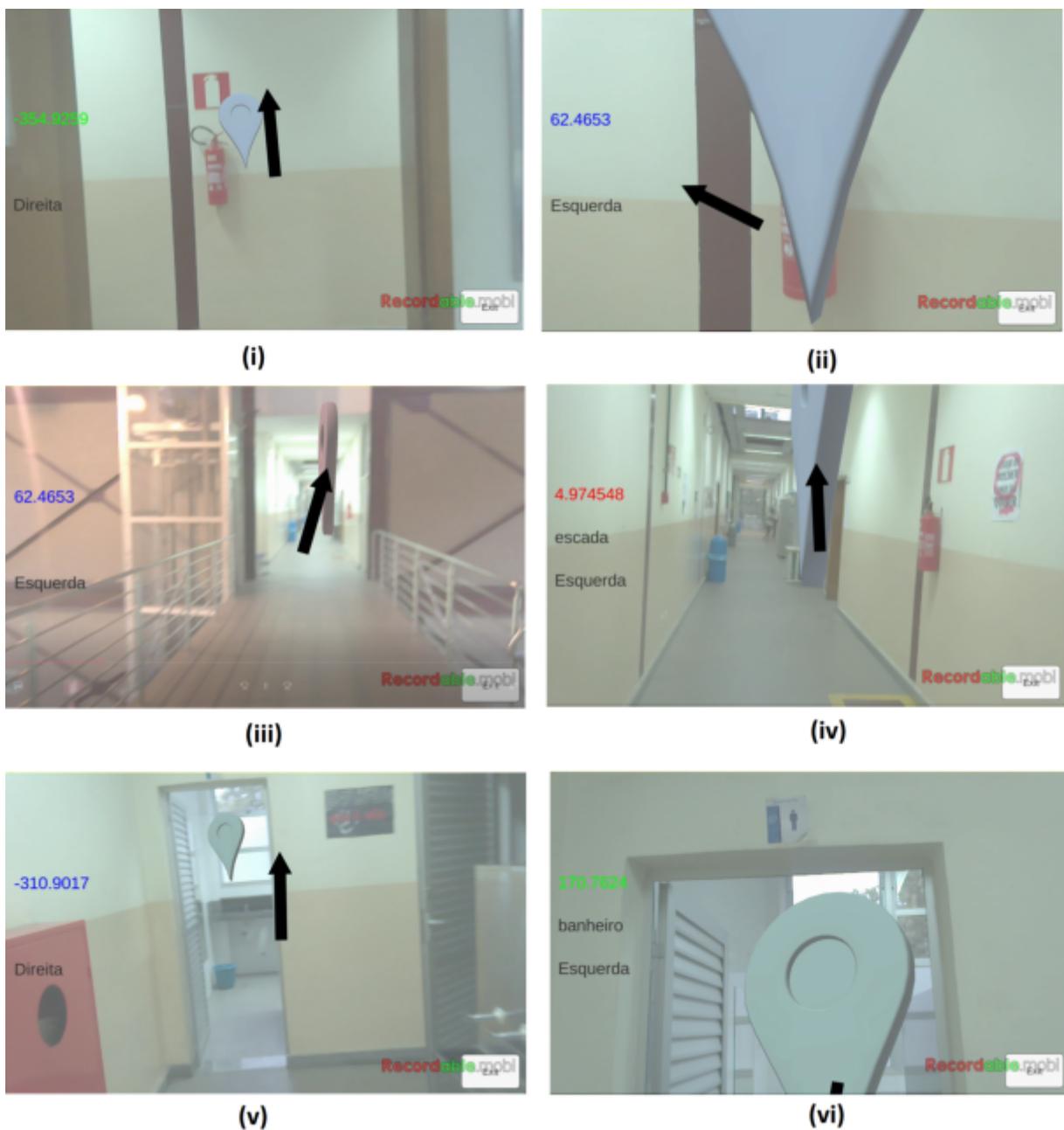
Figura 15: Rota sala ao banheiro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

E a seguinte figura mostra captura de tela, da navegação pelos pontos da rota.

Figura 16: Sequência captura de tela da navegação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 6.4 Discussões de resultados

Os testes descritos nesta seção foram conduzidos em ambiente controlado e fechado, ambiente este não muito dinâmico, isto é, cores e outros objetos do ambiente não sofrem grande mutação em curto período de tempo. A aprendizagem de área é uma técnica que se utiliza de pistas visuais para se localizar, além de pequenos cartazes fixados nas paredes, o ambiente é extremamente monótono com seções do corredor similares, o qual serviu para averiguar a robustez do sistema em locais com pouca variabilidade. Notou a necessidade de um bom mapeamento para uma melhor localização e minimizar os equívocos de localização como observado comparando testes 1 e 3. Com um mapeamento voltado apenas a direção, ao realizar a navegação, verificou-se falhas na localização e na identificação correta dos marcadores. Tendo variado as direções de quadro no mapeamento, resultou em um mapa mais robusto e preciso. Vale ressaltar a câmera utilizada pelo tablet, esta com um ângulo de visão de 180 graus, o qual em ambientes estreito tal como o corredor testado, sofre uma perda de informação, com grande porção da visão sendo ocupada com as paredes laterais.

Outro fator importante do ambiente de teste é o grande fluxo de pessoas ao decorrer do dia. É importante que o sistema consiga se localizar e guiar usuários apropriadamente na presença de pedestres. Nos testes ocorreram três casos distintos de pedestres adentrando a cena, enquanto testando navegação. Houve o caso no qual um grupo de alunos transitava pelo corredor, e novamente retornando as considerações físicas da câmera de lente grande angular, estes adentraram o campo de visão da câmera e estando próximos à câmera, ocupando maior parte do cenário, acarretando um problema de localização, o qual foi automaticamente remediado. Em outro momento, de maneira similar ao caso anterior, um grupo de alunos adentrou o campo de visão da câmera resultando novamente em um problema de localização, e este foi corrigido apenas após deslocado alguns metros. Casos de grupo adentrando o cenário mostrou-se problemático, acarretando problemas temporários de localização, tornando a navegação instável, o qual pode ser um limitante quanto ao uso deste em determinados ambientes. Todavia, a presença de transeuntes de maneira esparsa não impactou significativamente a navegação.

Ainda, se utilizando de imagens, a variação de iluminação pode afetar a percepção do ambiente, como por exemplo a percepção de cores no ambiente. Uma variação que pode ser esperada em diversos ambientes é a variação de iluminação natural para artificial com o passar do dia. Neste quesito não houve problemas de localização, os testes diurnos quanto os testes noturnos retornaram resultados positivos e navegação satisfatória.

Sendo um aparelho móvel e de maneira que diferentes usuários possam manuseá-lo em diferentes ângulos e altura, de forma que o posicionamento da câmera é fundamental para o sistema, testou-se realizar a navegação em diferentes ângulos e alturas. Levando a extremos aonde apenas o chão ou o teto estavam em quadro. Em ambos os casos extremos houve momentos o qual o sistema perdeu a localização precisa, notou-se que isto ocorria quando localizado no centro do corredor e em quadro estava apenas o chão ou o teto, o qual impossibilita averiguar diferentes características, porém em se enquadrando parte da parede lateral, o sistema inusitadamente conseguiu se localizar com partes do rodapé ou cânulas em

quadro. No evento de usuários de diferentes tamanhos segurando o tablet em variadas alturas, não apresentou falha na localização no ambiente.

E ainda, com o segundo estudo de caso, foi testado mais especificamente o comportamento do tablet em ambientes estruturalmente iguais, e alteração de objetos nestes ambientes. Para isso foi mapeado um dos laboratórios de informática, e então verificado o reconhecimento do ambiente modificando a posição de alguns objetos no cenário, aonde o tablet rapidamente posicionou os marcadores adequadamente. Porém, ao carregar o mapa enquanto dentro de outro laboratório estruturalmente parecido, este não posicionou nenhum marcador em cena, porém ao se movimentar pela sala, marcadores apareceram em locais aleatórios, e ao continuar se movimentando pela sala os marcadores foram posicionados em posições similares às suas posições.

Em uma segunda bateria de teste, em três escritórios com características similares, foi encontrado problemas de percepção de mudança de ambientes. Na sala mapeada, foram posicionados quatro marcadores, um em cada mesa. Ao mudar de sala, similar à primeira, com apenas três mesas, todos os quatro marcadores foram posicionados em cena, tendo três marcadores posicionados junto a mesas, e um falso positivo. Ao testar em um terceiro escritório, todos os marcadores foram posicionados em posições aleatórias.

Já no terceiro estudo de caso, com o propósito de demonstrar a utilização deste sistema como um sistema de navegação em rota, aonde foi elaborado uma interface para guiar o usuário de um ponto ao outro, pelo grafo. Aonde o sistema se mostrou preciso e ágil.

Finalmente, analisando os resultados obtidos pelos diversos testes, indicou que o sistema de localiza de forma eficiente em ambientes internos, tomando as devidas precauções de se criar um mapa robusto. Além, o sistema se mostra perturbado em se movimentar em diferentes velocidades, ao segurar o tablet em posição e angulação diferente ao qual o ambiente foi mapeado. A alteração de luminosidade também não afetou o desempenho do tablet de se localizar devidamente.

Observou-se que o reconhecimento foi afetado na presença de outras pessoas no ambiente de teste, cabendo ressaltar que devido ao curto espaço do ambiente de teste a presença de estranhos ocupou a maior parte do quadro, dificultando o reconhecimento de equivalência das características salvas.

Ainda, foi observado que em salas semelhantes o sistema não conseguiu distinguir estes ambientes. Percebe-se a importância de se utilizar a aprendizagem de área juntamente ao rastreamento de movimentos, aonde o uso de ambas as técnicas levam a uma maior precisão da localização e menor presença de falsos positivos.

# 7 Conclusão

Um aplicativo baseado em imagens para auxiliar a orientação e navegação de usuários em ambientes internos foi apresentado neste artigo. O aplicativo usa as funcionalidades do Unity SDK do Tablet Project Google Tango Development Kit, resultando em um produto econômico, portátil, e suficientemente preciso. Foi desenvolvido um protótipo e avaliado extensivamente sua precisão em se localizar no ambiente, produzindo resultados favoráveis e, portanto, confirmando o potencial deste aplicativo para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

## 7.1 Trabalhos futuros

O trabalho apresentado neste trabalho focou no desenvolvimento de um aplicativo para localização e navegação na plataforma Tango com base em Unity e na avaliação da precisão da detecção para este sistema.

Uma abordagem voltada ao usuário pode ser tomada, focando em melhorar a interface com o usuário. Pode expandir os testes para diferentes cenários não testados, em larga escala como para um evento ou grande estabelecimento comercial. Pode se especializar esta aplicação para a comunidade cega, pois o fornecimento de uma aplicação autônoma móvel em tempo real em um dispositivo de ponta pode lhes permitir navegar em ambientes desconhecidos de forma independente, aumentando significativamente sua autonomia. Além do mais, este tablet incorpora mais sensores que não foram explorados neste trabalho, como por exemplo seu módulo infra vermelho para detecção de obstáculos, explorado em (JAFRI et al., 2017).

# Referências

- ANDREOPOULOS, A.; TSOTSOS, J. K. 50 years of object recognition: Directions forward. *Computer Vision and Image Understanding*, v. 117, n. 8, p. 827 – 891, 2013. ISSN 1077-3142. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S107731421300091X>>. Citado na página 13.
- AZIZYAN, M.; CONSTANDACHE, I.; CHOUDHURY, R. R. Surroundsense: Mobile phone localization via ambience fingerprinting. In: *Proceedings of the 15th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*. New York, NY, USA: ACM, 2009. (MobiCom '09), p. 261–272. ISBN 978-1-60558-702-8. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1614320.1614350>>. Citado nas páginas 10 e 20.
- BASTIAANDEROO. *Flowers*. 2017. Disponível em: <<http://images.freeimages.com/images/previews/3b3/flowers-1637316.jpg>>. Citado na página 14.
- BAY, H. et al. Speeded-up robust features (surf). *Comput. Vis. Image Underst.*, Elsevier Science Inc., New York, NY, USA, v. 110, n. 3, p. 346–359, jun. 2008. ISSN 1077-3142. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cviu.2007.09.014>>. Citado nas páginas 15 e 16.
- BOLLIGER, P. Redpin - adaptive, zero-configuration indoor localization through user collaboration. In: *Proceedings of the First ACM International Workshop on Mobile Entity Localization and Tracking in GPS-less Environments*. New York, NY, USA: ACM, 2008. (MELT '08), p. 55–60. ISBN 978-1-60558-189-7. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1410012.1410025>>. Citado nas páginas 10 e 19.
- CHOUDHURY, T. et al. The mobile sensing platform: An embedded activity recognition system. *IEEE Pervasive Computing*, v. 7, n. 2, p. 32–41, April 2008. ISSN 1536-1268. Citado na página 9.
- DIAKITÉ, A. A.; ZLATANOVA, S. First experiments with the tango tablet for indoor scanning. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, III-4, p. 67–72, 2016. Disponível em: <<https://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/III-4/67/2016/>>. Citado na página 20.
- FARAJZADEH, N.; FAEZ, K.; PAN, G. Study on the performance of moments as invariant descriptors for practical face recognition systems. *IET Computer Vision*, v. 4, n. 4, p. 272–285, Dec 2010. ISSN 1751-9632. Citado na página 13.
- FREEMAN, W. T.; PASZTOR, E. C.; CARMICHAEL, O. T. Learning low-level vision. *International Journal of Computer Vision*, v. 40, n. 1, p. 25–47, Oct 2000. ISSN 1573-1405. Disponível em: <<https://doi.org/10.1023/A:1026501619075>>. Citado na página 14.
- GOOGLE. *Tango Tablet Development Kit User Guide*. 2017. <<https://developers.google.com/tango/hardware/tablet>>. Acessado em: 2017-09-30. Citado na página 12.
- GRZEGORZEK, M. et al. *Time-of-Flight and Depth Imaging. Sensors, Algorithms and Applications*. 1. ed. [S.l.]: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. v. 4. (8200, v. 4). ISBN 978-3-642-44964-2. Citado na página 13.
- GÜLCH, E. Investigations on google tango development kit for personal indoor mapping. In: *Proceedings of The 19th AGILE International Conference*. [s.n.], 2016. Disponível em: <[https://agile-online.org/conference\\_paper/cds/agile\\_2016/posters/102\\_Paper\\_in\\_PDF.pdf](https://agile-online.org/conference_paper/cds/agile_2016/posters/102_Paper_in_PDF.pdf)>. Citado na página 20.

IBGE, I. B. de Geografia e E. *Acesso à Internet e à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal*. 2015. Disponível em: <[https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com\\_mediaibge/arquivos/617a4c9e499e4a828fe781592e62c864.pdf](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/617a4c9e499e4a828fe781592e62c864.pdf)>. Citado na página 10.

JAFRI, R. et al. Visual and infrared sensor data-based obstacle detection for the visually impaired using the google project tango tablet development kit and the unity engine. *IEEE Access*, PP, n. 99, p. 1–1, 2017. Citado nas páginas 30 e 36.

KE, Y.; SUKTHANKAR, R. Pca-sift: a more distinctive representation for local image descriptors. In: *Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004*. [S.l.: s.n.], 2004. v. 2, p. II–506–II–513 Vol.2. ISSN 1063-6919. Citado na página 16.

KERL, C.; STURM, J.; CREMERS, D. Dense visual slam for rgb-d cameras. In: *2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 2100–2106. ISSN 2153-0858. Citado na página 13.

KLINGENSMITH, M. et al. Chisel: Real time large scale 3d reconstruction onboard a mobile device using spatially hashed signed distance fields. In: *Proceedings of Robotics: Science and Systems*. Rome, Italy: [s.n.], 2015. Citado na página 10.

LAZEBNIK, S.; SCHMID, C.; PONCE, J. A sparse texture representation using local affine regions. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v. 27, n. 8, p. 1265–1278, Aug 2005. ISSN 0162-8828. Citado na página 13.

LOWE, D. G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, v. 60, n. 2, p. 91–110, Nov 2004. ISSN 1573-1405. Disponível em: <<https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>>. Citado na página 15.

MATURANA, D.; SCHERER, S. Voxnet: A 3d convolutional neural network for real-time object recognition. In: *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 922–928. Citado na página 10.

MOREELS, P.; PERONA, P. Evaluation of features detectors and descriptors based on 3d objects. In: *Tenth IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV'05) Volume 1*. [S.l.: s.n.], 2005. v. 1, p. 800–807 Vol. 1. ISSN 1550-5499. Citado na página 13.

MOREL, J.-M.; YU, G. Asift: A new framework for fully affine invariant image comparison. *SIAM Journal on Imaging Sciences*, v. 2, n. 2, p. 438–469, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1137/080732730>>. Citado na página 16.

OZUYSAL, M. et al. Fast keypoint recognition using random ferns. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v. 32, n. 3, p. 448–461, March 2010. ISSN 0162-8828. Citado na página 18.

PARK, J.-g. et al. Growing an organic indoor location system. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*. New York, NY, USA: ACM, 2010. (MobiSys '10), p. 271–284. ISBN 978-1-60558-985-5. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1814433.1814461>>. Citado nas páginas 10 e 19.

PILET, J.; LEPETIT, V.; FUA, P. Fast non-rigid surface detection, registration and realistic augmentation. *International Journal of Computer Vision*, v. 76, n. 2, p. 109–122, Feb 2008. ISSN 1573-1405. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11263-006-0017-9>>. Citado na página 18.

- RINCON, J. M. del et al. Tracking human position and lower body parts using kalman and particle filters constrained by human biomechanics. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, v. 41, n. 1, p. 26–37, Feb 2011. ISSN 1083-4419. Citado na página 13.
- SHI, J.; TOMASI, C. Good features to track. In: *1994 Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. [S.l.: s.n.], 1994. p. 593–600. ISSN 1063-6919. Citado na página 18.
- SIMONCELLI, E. P.; ADELSON, E. H.; HEEGER, D. J. Probability distributions of optical flow. In: *Proceedings. 1991 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. [S.l.: s.n.], 1991. p. 310–315. ISSN 1063-6919. Citado na página 14.
- SUBBU, K. pathapati; GOZICK, B.; DANTU, R. Locateme: Magnetic-fields-based indoor localization using smartphones. v. 4, 09 2013. Citado nas páginas 9 e 19.
- TARZIA, S. P. et al. Indoor localization without infrastructure using the acoustic background spectrum. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*. New York, NY, USA: ACM, 2011. (MobiSys '11), p. 155–168. ISBN 978-1-4503-0643-0. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1999995.2000011>>. Citado nas páginas 9 e 19.
- TUYTELAARS, T.; MIKOLAJCZYK, K. Local invariant feature detectors: A survey. *Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision*, v. 3, n. 3, p. 177–280, 2008. ISSN 1572-2740. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1561/06000000017>>. Citado na página 14.
- URAS, S. et al. A computational approach to motion perception. *Biological Cybernetics*, v. 60, n. 2, p. 79–87, Dec 1988. ISSN 1432-0770. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF00202895>>. Citado na página 14.
- VALGREN, C.; LILIENTHAL, A. J. Sift, surf seasons: Appearance-based long-term localization in outdoor environments. *Robotics and Autonomous Systems*, v. 58, n. 2, p. 149 – 156, 2010. ISSN 0921-8890. Selected papers from the 2007 European Conference on Mobile Robots (ECMR '07). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889009001493>>. Citado na página 13.
- WANG, H. et al. No need to war-drive: Unsupervised indoor localization. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*. New York, NY, USA: ACM, 2012. (MobiSys '12), p. 197–210. ISBN 978-1-4503-1301-8. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2307636.2307655>>. Citado nas páginas 10 e 20.
- YAP, P. T.; JIANG, X.; KOT, A. C. Two-dimensional polar harmonic transforms for invariant image representation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v. 32, n. 7, p. 1259–1270, July 2010. ISSN 0162-8828. Citado na página 13.
- ZANDBERGEN, P. A.; BARBEAU, S. J. Positional accuracy of assisted gps data from high-sensitivity gps-enabled mobile phones. *Journal of Navigation*, Cambridge University Press, v. 64, n. 3, p. 381–399, 2011. Citado na página 9.
- ZHU, R.; ZHOU, Z. A real-time articulated human motion tracking using tri-axis inertial/magnetic sensors package. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v. 12, n. 2, p. 295–302, June 2004. ISSN 1534-4320. Citado na página 13.