

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE COMPUTAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

RODRIGO CATÃO ARAUJO

**VISUALIZAÇÃO E RECONSTRUÇÃO DE AMBIENTES
UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTEREOSCOPIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2016

RODRIGO CATÃO ARAUJO

**VISUALIZAÇÃO E RECONSTRUÇÃO DE AMBIENTES
UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTEREOSCOPIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento Acadêmico de Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de “Bacharel em Ciência da Computação”.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luiz de Paula Filho

MEDIANEIRA

2016



TERMO DE APROVAÇÃO

Visualização e Reconstrução de Ambientes Utilizando Técnicas de Estereoscopia

Por

Rodrigo Catão Araujo

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 15:50h do dia 07 de Junho de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de no Curso Bacharelado em Ciência da Computação, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus Medianeira*. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Pedro Luiz de Paula Filho
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Orientador)

Prof. Alessandra Bortoletto Garbelotti
Hoffmann
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Convidado)

Prof. Hamilton Pereira da Silva
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Convidado)

Prof. Jorge Aikes Junior
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Responsável pelas atividades de TCC)

RESUMO

ARAÚJO, Rodrigo Catão. VISUALIZAÇÃO E RECONSTRUÇÃO DE AMBIENTES UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTEREOSCOPIA. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Ciência da Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

A visão computacional e a robótica são áreas estudadas há décadas, porém com o desenvolvimento/aprimoramento de dispositivos computacionais, fez-se possível o uso destas tecnologias em conjunto. Tais tecnologias podem ser aplicadas em muitas áreas, como por exemplo, no uso militar/profissional para aplicações de *Search and Rescue* (SAR). Esta aplicação vem sendo extensivamente estudada dentro da robótica e visão computacional, pois aborda o cenários em que as condições não são apropriadas para seres humanos, por serem inacessíveis ou por serem muito perigosas, entretanto, em situações mais complexas de SAR, a utilização de robôs autônomos ainda não é possível, por este motivo a maior partes dos robôs enviados à ambientes SAR são controlados remotamente. Neste cenário o operador deve ter uma consciência apurada do que está em seu redor. Por esse motivo há a necessidade de desenvolver tecnologias para melhorar este controle, ou seja, melhorar a eficiência do operador. A tecnologia mais usada para isso, geralmente é o uso de interfaces gráficas, entretanto, estas possuem muitos espaços que não servem para nada ou então com pouca utilidade. Uma das possíveis soluções para este problema é o uso de um *head mounted display* (HMD). A partir disto, o operador consegue perceber o vídeo como se fosse um mundo 3D, tendo a total sensação de profundidade, algo que não seria possível utilizando um sistema comum. A proposta deste trabalho é utilizar as tecnologias do HMD em conjunto com técnicas de estereoscopia com o intuito de melhorar a visualização do ambiente para o operador e também de realizar a reconstrução do ambiente em 3D. Ao fim deste trabalho foi desenvolvido um dispositivo robótico controlado remotamente que permite reconstruir o ambiente em três dimensões, e que possibilita o operador uma imersão no ambiente por meio de técnicas de estereoscopia.

Palavras-chave: HMD, Estereoscopia, Visão Computacional

ABSTRACT

ARAUJO, Rodrigo Catão. ENVIRONMENT VISUALIZATION AND RECONSTRUCTION USING STEREOSCOPY TECHNIQUES. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Ciência da Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

Computer vision and robotics are studied for decades, however, the development/enhancement of computing devices made possible to use these technologies together. Such technologies can be applied in many areas, such as the use in military or professional for applications of Search and Rescue (SAR). This situation has been extensively studied in robotics and computer vision, because it approaches a scenario where the conditions are not suitable for human beings, in other words, it is inaccessible or too dangerous. Although, in a more complex situations of SAR, the use of autonomous robots is not possible, for this reason most parts of robots sent to SAR environments are controlled remotely. In a scenario of SAR, the operator must have a heightened awareness of their surroundings. Therefore there is a need to develop a technology to improve this control, i.e. improve the operator efficiency. The technology most used in these situations are GUIs, however, these GUIs have many spaces that are useless or with almost no use. A solution for this problem is the use of a head mounted display (HMD). Based on this, the operator can see the video as a 3D world, with the overall sense of depth, something that would not be possible using a common system. The purpose of this study is to use the HMD technologies in conjunction with stereoscopy techniques in order to allow better viewing experience for the operator and also to make a 3D environment reconstruction. At the end of this work it was developed a remotely controlled robotic device that allows to reconstruct the environment in three dimensions, and that allows the operator an immersion in the environment by using stereoscopy techniques.

Keywords: HMD, Stereoscopy, Computer Vision

Aos meus pais, Valter e Marlene, aos meus irmãos, a minha namorada Theodora, e a todos os meus amigos, pelo incentivo e apoio constante.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais, que sempre acreditaram em mim, sempre me apoiaram e incentivaram nas minhas decisões.

Agradeço o Professor Dr. Pedro Luiz de Paula Filho pela sua orientação e apoio durante toda a minha graduação.

Aos amigos que fiz durante o curso, por todos os momentos especiais que passamos durante a graduação. Sem eles essa trajetória não seria tão agradável.

A todos os professores do curso de Ciência da Computação, pela dedicação em dar aula, pelo conhecimento e orientações que me ajudaram. Cada um contribuiu para a conclusão deste trabalho e conseqüentemente para a minha formação acadêmica.

A todas as amizades feitas durante todo o curso, que elas durem por toda a vida.

Agradeço a todos que me ajudaram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste projeto. Muito obrigado.

“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos”. (Isaac Newton)

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Mars Rover	14
FIGURA 2	– Exemplos de Single Board Computers	19
FIGURA 3	– <i>Head-Mounted Display</i>	20
FIGURA 4	– Exemplo de Realidade Aumentada	24
FIGURA 5	– Exemplo de uma Imagem Estereoscópica	25
FIGURA 6	– Diagrama de Funcionamento	28
FIGURA 7	– Base do Dispositivo robótico	29
FIGURA 8	– Posicionamento das Câmeras	30
FIGURA 9	– Diagrama da Aplicação Servidor	31
FIGURA 10	– Dispositivo Robótico Pronto	32
FIGURA 11	– Diagrama da aplicação de controle	33
FIGURA 12	– Exemplo de reconstrução 3D utilizando o Kinect Fusion	34
FIGURA 13	– Modos de visualização	35
FIGURA 14	– Padrão do tabuleiro de xadrez	37
FIGURA 15	– Diagrama de atividade do início da aplicação servidor	38
FIGURA 16	– Diagrama de atividade do início da aplicação de controle	39
FIGURA 17	– Girando a caneca	41
FIGURA 18	– Movendo a caneca	42
FIGURA 19	– Movendo o Kinect para frente	42
FIGURA 20	– Movendo o Kinect ao redor da cadeira	43

LISTA DE SIGLAS

3D	Três Dimensões
FPS	<i>Frames Per Second</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
HMD	<i>Head-Mounted Display</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
SAR	<i>Search and Rescue</i>
SBC	<i>Single Board Computer</i>
SLAM	<i>Simultaneous Localization and Mapping</i>
VANT	Veículos Aéreos Não Tripulados
WTC	<i>World Trade Center</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVO GERAL	11
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3	JUSTIFICATIVA	12
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	14
2.1	ROBÓTICA CONTROLADA REMOTAMENTE	14
2.2	SENSORES	16
2.3	ATUADORES	17
2.4	SINGLE BOARD COMPUTER	18
2.5	HEAD-MOUNTED DISPLAY	19
2.6	COMPUTAÇÃO GRÁFICA	20
2.6.1	Visão Computacional	21
2.6.2	OpenCV	22
2.6.3	Realidade Virtual	22
2.6.4	Realidade Aumentada	23
2.6.5	Estereoscopia	23
2.6.6	Mapeamento de Ambientes em 3D	25
2.6.7	SLAM	26
2.7	POSSÍVEIS PROBLEMAS	26
3	METODOLOGIA	28
3.1	DISPOSITIVO ROBÓTICO	29
3.1.1	Estrutura	29
3.1.2	Visão	30
3.1.3	Aplicação	31
3.2	SISTEMA DE CONTROLE REMOTO	32
3.2.1	Aplicação de Controle	32
3.2.2	Aplicação de mapeamento	34
3.2.3	Visualização das Informações	35
3.3	COMUNICAÇÃO	36
3.4	CALIBRAÇÃO DAS CÂMERAS	36
3.5	INICIANDO AS APLICAÇÕES	38
4	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	40
4.1	SENSOR PARADO E OBJETO EM MOVIMENTO	41
4.2	SENSOR EM MOVIMENTO E AMBIENTE PARADO	42
5	CONCLUSÕES	44
5.1	TRABALHOS FUTUROS	45
Apêndice A – INSTALAR E CONFIGURAR O OPENCV NO BANANA PI		46
REFERÊNCIAS		48

1 INTRODUÇÃO

A visão computacional e a robótica são áreas estudadas há décadas, porém com o desenvolvimento/aprimoramento de dispositivos computacionais, faz-se possível o uso de algumas tecnologias que anteriormente não eram viáveis, tais como o processamento de imagens, em função da grande demanda computacional que este exige.

Existem vários cenários em que estas tecnologias podem ser aplicadas, como por exemplo: no uso militar/profissional para aplicações de *Search and Rescue* (SAR ou em tradução livre - Busca e Resgate); para o controle de veículos aéreos não tripulados (VANTs); para uso em atividades de lazer como na utilização de carrinhos/robôs de controle remoto e; em situações em que se deseja realizar o mapeamento de um ambiente em três dimensões (3D), dentre outros.

O mapeamento de ambientes em 3D pode ser aplicado em inúmeras situações, tais como, em sistemas de localização e mapeamento simultâneo (*Simultaneous Localization and Mapping* SLAM), para vigilância, para navegação e posicionamento, inspeção de infraestruturas, modelagem e reconstrução 3D, cartografia, entre outros (SANTOS; KHOSHELHAM, 2015).

Aplicações de *Search and Rescue* (SAR) vem sendo extensivamente estudadas dentro da robótica e visão computacional, pois abordam cenários em que as condições não são apropriadas para seres humanos, por serem inacessíveis ou por serem muito perigosas. Deste modo pode ser utilizado um robô de menor tamanho e/ou mais flexível (por exemplo, um robô em forma de cobra), sendo assim possível realizar uma avaliação da área em menor tempo e sem o perigo de alguém da equipe de resgate se machucar.

Geralmente em um sistema SAR, o vídeo enviado pelo dispositivo robótico é apresentado em uma interface gráfica GUI com outras informações, pelo motivo de este vídeo estar ao meio de outras informações, pode acontecer de limitar a capacidade de visualização do operador, ou seja, não possibilitando uma boa visualização do ambiente e conseqüentemente podendo atrasá-lo em uma situação em que há necessidade de se agir rapidamente.

Uma das possíveis soluções para este problema, seria com o uso de um *Head-Mounted Display* (HMD), este é um dispositivo de saída de dados que isola o usuário do mundo real.

Com a utilização de um HMD o operador é capaz de perceber o vídeo como se fosse um mundo 3D, tendo a total sensação de profundidade, algo que não seria possível utilizando um sistema comum. Além desta vantagem, o operador também pode controlar a visualização a partir do *head-tracker*¹ disponível no HMD, tendo assim uma liberdade de imersão a mais para poder explorar o ambiente.

Para que seja possível fazer uso do HMD, é necessário um sistema de estereoscopia, tecnologia esta que permite visualizar os ambientes com maior imersão (a sensação de profundidade) por meio da análise de duas imagens obtidas em pontos diferentes, como por exemplo, os dois olhos dos seres humanos, que através da estereoscopia permitem essa imersão.

A partir do mapeamento do ambiente em 3D, também é possível realizar um processamento de imagem para tentar identificar algum padrão fora do normal, por exemplo, em um caso de SAR, identificar pessoas em perigo, ou até mesmo, uma pessoa presa ao meio de algum escombros.

A proposta deste trabalho é utilizar as tecnologias do HMD em conjunto com técnicas de estereoscopia para possibilitar uma melhor visualização do ambiente e também para assim realizar a reconstrução do ambiente em 3D.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um dispositivo robótico controlado remotamente, com câmeras que, por meio de técnicas de estereoscopia possibilite ao operador uma maior imersão no ambiente, e estudo preliminar de técnicas que permitam reconstruir o ambiente em três dimensões.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Esse objetivo principal pode ser dividido nos seguintes objetivos específicos:

- Elaborar um referencial teórico sobre robótica e processamento de imagem;
- Projetar e montar a estrutura física do dispositivo robótico;

¹Head-tracker permite rastrear a posição e orientação da cabeça de uma pessoa.

- Analisar e projetar o sistema que será embarcado no dispositivo robótico;
- Implementar e testar o sistema embarcado no dispositivo robótico;
- Analisar e projetar o sistema que será disponibilizado ao operador;
- Implementar e testar o sistema que será disponibilizado ao operador;
- Avaliar o dispositivo em ambiente real.

1.3 JUSTIFICATIVA

A utilização de robôs pode auxiliar equipes SAR a acessar áreas perigosas ou então, passar por obstáculos pelos quais uma pessoa não conseguiria, assim permitindo a procura por sobreviventes de tragédias por exemplo. Em situações mais complexas de SAR, a utilização de robôs autônomos ainda não é possível, a maior partes dos robôs enviados à ambientes SAR são controlados remotamente pelo fato de não ter capacidade suficiente de realizar a tarefa autonomamente. Neste cenário o operador deve ter uma consciência apurada do que está em seu redor (BAKER et al., 2004).

Por esse motivo há a necessidade de desenvolver tecnologias para melhorar este controle, ou seja, melhorar a eficiência do operador. A tecnologia mais usada para isso, geralmente é o uso de GUIs, entretanto, segundo Baker et al. (2004), essas GUIs contém muitos "espaços mortos", isso é, espaços que não servem para nada ou com pouca utilidade.

Com a captação de vídeos usando técnicas de estereoscopia proporciona-se ao operador uma sensação maior de imersão no ambiente, assim como também uma noção melhor da distância dos objetos no ambiente. Consequentemente, o operador terá melhores subsídios para a sua tomada de decisão (AMANATIADIS et al., 2008). O mapeamento dos ambientes possui muitas aplicações, tais como: serviços de mapeamentos (Google Maps, Bing Maps, etc.); video games baseados em localizações reais; museus virtuais iterativos; simuladores realísticos (ROS/gazebo) e outros. Mediante as vantagens do mapeamento, é possível combiná-lo com SAR para realizar a localização do dispositivo robótico neste ambiente (BOSCH, 2010).

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse documento é organizado da seguinte forma. O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico sobre as ferramentas, tecnologias e conceitos aplicados. A metodologia utilizada se encontra no Capítulo 3, nele são descritas todas as etapas para o desenvolvimento do projeto. O Capítulo 4 apresenta os experimentos realizados. Por fim, no Capítulo 5 encontra-se a conclusão da proposta do trabalho de conclusão de curso.

2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Nessa seção é descrita a fundamentação teórica do tema escolhido. Primeiramente é comentado brevemente sobre a robótica controlada remotamente e alguns exemplos, em seguida aborda-se o tema de visão computacional e por fim são descritas algumas situações que devem ser consideradas para o problema em questão.

2.1 ROBÓTICA CONTROLADA REMOTAMENTE

O número de potenciais aplicações para a robótica vem aumentando cada vez mais nos últimos anos, tais aplicações são geralmente utilizadas em tarefas que substituem o homem, como por exemplo onde é necessário o acesso a ambientes de alta insalubridade, assim colocando a vida de uma pessoa em risco ou até mesmo para locais de difícil acesso (GUARDEZI, 2012).

Atualmente encontram-se vários exemplos de robótica controlada remotamente, um dos exemplos em evidência é o Robô Mars Rover (Figura 1) da NASA, que foi enviado para Marte com intuito de coletar informações sobre o planeta.



Figura 1 – Mars Rover

Fonte: Millward (2013)

De forma geral, segundo Hata (2010) a robótica móvel defronta com três problemas fundamentais: mapeamento de ambientes, localização e a navegação do robô.

Uma das funções fundamentais de qualquer robô é o processo de aquisição de informações espaciais do ambiente em que se situa, através da construção de mapas do local, sem isso provavelmente não será possível cumprir com as tarefas definidas. Outra função fundamental é a da localização, este é um assunto importante e diretamente relacionado com o processo de navegação e mapeamento, sem este, não seria possível identificar para onde o robô está se movimentando, e por fim, a navegação do robô que envolve questões mecânicas, eletrônicas e lógicas para o seu deslocamento (HATA, 2010).

Uma das possíveis aplicações da robótica controlada remotamente é Busca e Resgate (*Search and Rescue - SAR*), que define e descreve internacionalmente todas as operações voltadas à localizar e salvar pessoas em situação de risco. Principalmente quando ocorrem desastres naturais, os quais tem tirado muitas vidas nas últimas décadas, exemplos disso foram o tornado em Oklahoma em 1999; o terremoto e tsunami no oceano Índico em 2004; o terremoto Tuhuku no Japão em 2011; todos considerados mortais e muito custosos para as comunidades afetadas (GULATI et al.,).

O objetivo durante qualquer operação de resgate, seja em um terremoto ou outro desastre natural, é o de encontrar sobreviventes presos ao meio dos destroços, nestas situações os socorristas possuem pouco tempo (em torno de 48 horas) para encontrar as vítimas presas, caso contrário, a chance de encontrá-las é aproximadamente zero (GULATI et al.,).

Segundo Gulati et al. () a primeira pesquisa sobre SAR começou após uma explosão na cidade de Oklahoma (Estados Unidos). E em 11 de setembro de 2001, durante o ataque ao *World Trade Center (WTC)* foi documentado o uso dos primeiros robôs de SAR.

No passado, a tarefa de resgate era sempre realizada por pessoas treinadas ou então por cães de resgate. Entretanto, com o avanço da ciência e tecnologia, robôs equipados com sensores avançados e detectores para auxiliar em tarefas de resgate estão atraindo mais e mais atenção de pesquisadores e equipes de resgate (MARTINS; VENTURA, 2009).

Um dos motivos para o uso de robôs SAR é a quantidade de tempo gasto pelas equipes procurando em locais onde não se sabe se existe algo a ser encontrado, ou então, pelo tempo gasto para deslocar objetos para abrir passagem à equipe de resgate. Por esse motivo, o uso de robôs para essas tarefas tornam-se eficientes, sendo que tais robôs tem a vantagem de serem equipados com sensores e detectores que auxiliam a tarefa, além de se moverem no meio de lacunas e pequenos buracos que seria impossível para uma pessoa (GULATI et al.,).

Outras propostas de robôs móveis vem sendo apresentadas nas últimas décadas, entre essas pode-se citar os robôs de exploração espacial (como visto na Figura 1), robôs para

serviços domésticos, atividades agrícolas e serviços militares.

Uma das aplicações que atrai pesquisadores de diversas partes do mundo e tem gerado muitas pesquisas recentemente é a utilização de VANTs, que segundo a ANAC é definido como:

Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT: Aeronave projetada para operar sem piloto a bordo e que não seja utilizada para fins meramente recreativos. Nesta definição, incluem-se todos os aviões, helicópteros e dirigíveis controláveis nos três eixos, excluindo-se, portanto, os balões tradicionais e os aeromodelos.

Os avanços em materiais, componentes eletrônicos, sensores e baterias permitiram grandes avanços para o desenvolvimento destes veículos.

Uma das aplicações para um VANT é para auxiliar tarefas de SAR, outro exemplo seria para retirar o ser humano de condições de alta periculosidade ou então para permitir um maior grau de liberdade, abrindo possibilidades em tarefas que seriam impraticáveis para um veículo tripulado.

2.2 SENSORES

Sensores são a interface de percepção entre um dispositivo e meio ambiente. Existem duas categorias de sensores, os proprioceptivos e os exteroceptivos.

Sensores proprioceptivos são os sensores que medem parâmetros internos ao sistema. A vantagem deste sistema é que diferentemente do exteroceptivo, ele não depende do meio ambiente para realizar suas medidas. Alguns exemplos deste tipo de sensores são os odômetros e os sensores inerciais (MARTINS, 2013).

Sensores exteroceptivos são aqueles que adquirem informações a partir da energia vinda do meio. Os dois princípios distintos de energias que são utilizadas: a electromagnética e a acústica. Dentro desta categoria, existem outras duas subdivisões, sensores exteroceptivos ativos, e os passivos (MARTINS, 2013).

Sensores passivos, tais como câmeras e microfones são observadores do ambiente, ou seja, capturam sinais que são gerados por outras fontes do meio ambiente. Sensores ativos, tais como sonar, LIDAR, infravermelho, enviam algum tipo de energia para o meio ambiente, ou seja, eles contam com o fato de que esta energia emitida é refletida de volta para o sensor. Geralmente sensores ativos tendem a fornecer mais informações do que os sensores passivos,

mas à custa de um aumento do consumo de energia e com o perigo de interferência quando vários sensores ativos são utilizados ao mesmo tempo (MARTINS, 2013).

Entre os sensores passivos em um dispositivo de SAR, a câmera de vídeo é um dos principais elementos. Ela é um dispositivo que possui mecanismos que capturam imagens em tempo real. Diferente de uma câmera fotográfica, ela é capaz de registrar movimentos, que são registrados tirando-se sucessivamente centenas (ou até mesmo milhares) de fotos com grande rapidez.

Segundo Read e Meyer (2000), o olho humano consegue distinguir entre 10 a 12 imagens por segundo, a partir disso percebe-se uma sensação de continuidade, ou seja, durante a exibição das imagens capturadas pela câmera de vídeo aparenta-se que existe um movimento, pois as fotos são exibidas mais rápido do que o olho humano é capaz de notar.

Já em relação aos sensores ativos, o sistema LIDAR (*Light Detection and Ranging*) é um dos mais eficientes. Ele é uma tecnologia que permite a obtenção de informações tridimensionais acerca da superfície terrestre com alta precisão. Além disso, essa tecnologia permite coletar dados precisos e com maior velocidade, quando comparada com outras tecnologias (BASTOS; FILHO, 2012).

O princípio de funcionamento está baseado na emissão de pulsos de LASER sob uma determinada taxa de frequência de repetição e de varredura. Este tipo de tecnologia está sendo usada em uma ampla variedade de aplicações, incluindo mapeamento topográfico de alta resolução, modelagem de superfícies 3D, assim como também está sendo estudada nas áreas de infraestruturas e biomassa (SURVEY, 2016)

O LIDAR possui, ainda, a capacidade de coletar uma grande quantidade de informações do terreno e dos demais objetos presentes, além de não sofrer interferência pela falta de iluminação e nem de efeitos produzidos por imagens fotográficas, como a perspectiva (BASTOS; FILHO, 2012).

2.3 ATUADORES

Os atuadores, são elementos que produzem movimento, atendendo a comandos que podem ser elétricos, pneumáticos ou hidráulicos. Um dos principais atuadores em um sistema de SAR são motores, que são dispositivos que convertem outras formas de energia em energia mecânica, de forma a impelir movimento a uma máquina ou veículo. Entre as formas de

conversão de energia, tem-se, motores a combustão, elétricos e outros (NORTON, 2010).

Motores elétricos geralmente são classificados pelas funções, aplicações ou pelas configurações elétricas. Algumas das classificações podem ser: motores de engrenagem, servomotores e de passo. Apesar de serem motores elétricos, cada um tem o funcionamento e finalidades diferentes (NORTON, 2010).

Segundo Norton (2010) motores de corrente contínua são produzidos em diferentes configurações elétricas, entretanto a maior diferença é que cada uma possui características torque-velocidade diferentes. Basicamente, o motor utiliza o ímã para produzir o movimento, ou seja, utilizando o magnetismo. Este tipo de motor não tem precisão, mas sim velocidade.

Motores de passo possuem polos fixos para precisão, diferentemente dos motores de corrente contínua não possuem escovas e comutadores. Este tipo de motor não possui velocidade, mas contém precisão e força (NORTON, 2010).

Servomotores são parecidos com motores de passo, a diferença é que este contém um sistema de controle interno que verifica a posição de entrada com a posição de saída de um motor de corrente contínua. Este tipo de motor, apesar de ter precisão, não tem muita força como os motores de passo (NORTON, 2010).

2.4 SINGLE BOARD COMPUTER

Um *Single Board Computer* (SBC) é um computador que é construído em uma única placa. É um computador completo, que possui praticamente as mesmas funções, capacidade de processamento, entrada de dados, saída de dados e a possibilidade de armazenar informações, por exemplo o programa que vai ser executado. Ao contrário dos computadores tradicionais SBCs não são modulares, ou seja, seus componentes não podem ser atualizados já que são integrados na própria placa. As *Single Board Computers* são muito utilizadas em sistemas embarcados, inclusive, muitos produtos estão sendo desenvolvidos baseado nesse tipo de tecnologia. Alguns exemplos são: Raspberry PI, Banana PI e entre outros, sendo estes detalhados nas próximas seções (PAJANKAR, 2015).

O Raspberry PI (Figura 2 (a)) é um computador do tamanho similar a um cartão de crédito, com conexões HDMI, USB, Ethernet, e cartão SD, ou seja, é um pequeno computador que pode ser utilizado em projetos de eletrônica e também para muitas outras coisas que um computador comum pode fazer, como por exemplo, navegar na internet, jogos, filmes e entre

outros (PI, 2015b). Existem diferentes modelos do Raspberry PI, os três mais recentes são os modelos A+, B+ e o PI 2. Tais modelos são geralmente pequenos e com grande capacidade de processamento (Quad-core ARM Cortex-A7) que faz com que ele seja muito utilizado para projetos de eletrônica (PI, 2015b).

Banana Pi (Figura 2 (b)) é um outro representante de SBC, que tem como finalidade de ser barato, pequeno e flexível. É composto de um processador Dual-core ARM Cortex-A7, uma GPU Mali400MP2, e *hardware open source*. Com isso é possível utilizá-lo para um grande número de aplicações e com diferentes propósitos, como por exemplo, robótica ou automação residencial (PI, 2015a).

O Banana Pi possui vários conectores que podem ser utilizados para expandir as funcionalidade do dispositivo. Os acessórios mais comuns incluem uma tela, *touch screen*, módulos de câmera, e entre outros.

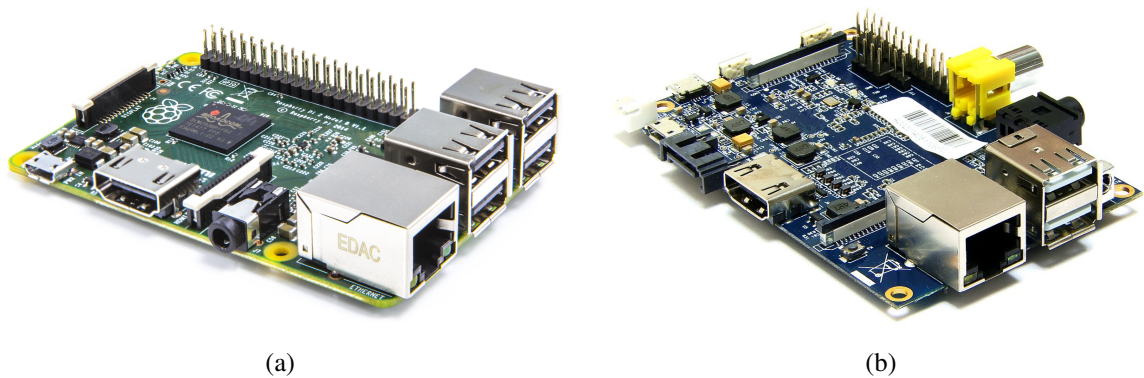


Figura 2 – Exemplos de Single Board Computers (a) Raspberry PI 2 e (b) Banana PI

2.5 HEAD-MOUNTED DISPLAY

O *Head-Mounted Display* é um dispositivo de saída de dados que isola o usuário do mundo real. Ele é constituído basicamente de duas telas (*displays*) e um conjunto de lentes. As lentes ajudam a focalizar a imagem que está a alguns milímetros dos olhos do usuário, ajudando também a estender o campo de visão do vídeo. Porém, também pode ser utilizado como um dispositivo de entrada de dados quando contém sensores de rastreamento que medem a posição e orientação da cabeça transmitindo esses dados para o computador (*Head-tracker*). A Figura 3 apresenta um exemplo de HMD.

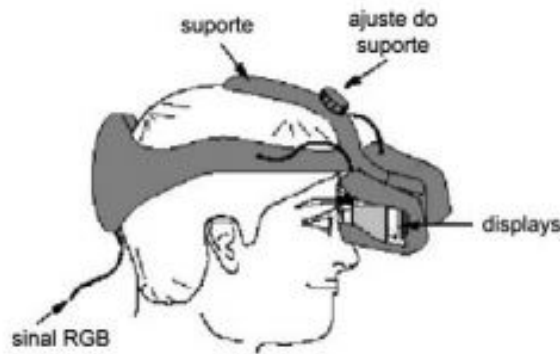


Figura 3 – Head-Mounted Display

Fonte: Tori et al. (2006)

O HMD pode ser utilizado em conjunto com o controle remoto de robôs, com isso ele irá projetar as imagens geradas a partir do robô para o operador. Porém, a utilização de uma única câmera não é muito significativa, considerando que o resultado na percepção do operador iria ser a mesma do que assistir por um único monitor. Entretanto, com o uso de um par de câmeras é possível prover uma forma de estereoscopia para o operador, ou seja, melhorar a percepção visual e a sensação de distancia. Conseqüentemente o operador pode analisar melhor a situação e realizar ações mais eficientes (AMANATIADIS et al., 2008).

2.6 COMPUTAÇÃO GRÁFICA

Segundo a ISO – (*International Organization for Standardization*), a definição de computação gráfica é: um conjunto de ferramentas e técnicas para converter dados para/ou de um dispositivo gráfico através do computador.

Segundo Azevedo e Conci (2003), a computação gráfica atualmente é uma área que engloba pelo menos três grandes subáreas: a síntese de imagens, processamento digital de imagens e a análise de imagens.

A síntese de imagens considera a criação de imagens sintéticas, ou seja, as representações visuais de objetos criados pelo computador a partir das especificações geométricas e visuais de seus componentes. O processamento digital de imagens considera o processamento das imagens na forma digital e suas transformações, um exemplo disso seria para melhorar ou então realçar características visuais de uma imagem. A análise de imagens

procura obter a especificação dos componentes de uma imagem a partir de sua representação visual. Ou seja, através da própria imagem produz informações mais específicas, por exemplo, as primitivas geométricas elementares que compõem a imagem (AZEVEDO; CONCI, 2003).

A computação gráfica contém muitas aplicações, uma destas é na visão computacional, no caso da modelagem geométrica onde as informações tridimensionais obtidas das imagens podem ser usadas para sintetizar uma nova imagem da cena, desta vez gerada por algoritmos de computação gráfica. A partir disto surgem diversas outras aplicações, tais como a realidade virtual, realidade aumentada, entre outras.

2.6.1 Visão Computacional

De acordo com Milano e Honorato (2010) a visão computacional é a ciência responsável pela visão de uma máquina, ou seja, pela forma como um computador enxerga o meio à sua volta, extraindo informações significativas a partir de imagens capturadas por câmeras de vídeo, sensores, scanners ou outros dispositivos

Não existe um modelo padrão bem definido para implementação de um sistema de visão computacional. Geralmente aplicações que utilizam visão computacional procuram resolver problemas particulares de forma específica, ou seja, são sistemas especialistas, que necessitam de conhecimento específico para solucionar tal problema. Porém existem algumas coisas em comum em quase todos os sistemas: (MILANO; HONORATO, 2010)

- Aquisição de Imagem
- Pré-processamento
- Detecção e segmentação
- Extração de características
- Processamento de alto nível

Aplicações de visão computacional podem ser encontradas em diversas áreas, como física, biologia, indústria, uso militar e entre outras. Alguns exemplos são: reconhecimento de faces de pessoas em aeroportos; na indústria pode ser utilizado para controle de qualidade de determinado produto; no uso de controle remoto de robôs ou até mesmo de robôs autônomos, entre outros.

2.6.2 OpenCV

OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*) é uma biblioteca para desenvolvimento de softwares de visão computacional e de aprendizagem de máquina. Foi construído de modo a providenciar uma infraestrutura em comum para aplicação de visão computacional, para o uso da tecnologia em produtos comerciais (OPENCV, 2016).

A biblioteca possui mais do que 2500 algoritmos otimizados, os quais incluem um conjunto abrangente de algoritmos clássicos de visão computacional e de aprendizagem de máquina. Tais algoritmos podem ser utilizados para detectar e reconhecer faces, identificar objetos, classificação ações humanas em vídeos, rastrear objetos se movendo, produzir nuvens de pontos em 3D a partir de câmeras estereoscópicas e muitas outras possibilidades (OPENCV, 2016).

2.6.3 Realidade Virtual

A realidade virtual é uma interface avançada para o usuário que permite a comunicação deste com a máquina, possibilitando a visualização, movimentação e a interação com elementos em ambientes tridimensionais em tempo real. Esta tecnologia pode ser descrita como uma técnica avançada de interface, que tem como objetivo fazer com que o usuário sinta-se imerso na aplicação, isto é, em um ambiente virtual, por exemplo, a operação remota de um robô em uma tarefa de *Search And Rescue*.

Com os recursos computacionais atualmente disponíveis, tem-se a possibilidade do uso da realidade virtual, permitindo que a reprodução do real seja mais fácil de ser desenvolvida, possibilitando interfaces mais simples e com a interação do usuário no espaço tridimensional, ou seja, em vez do usuário interagir em uma aplicação com o uso de menus e botões, pode-se usar das aplicações computacionais para executar ações sobre os objetos tridimensionais, exemplo disso seria: abrir uma porta, apertar botões, empurrar objetos, etc (TORI et al., 2006).

Outro exemplo do uso da realidade virtual é a possibilidade de se modificar virtualmente as capacidades humanas, isto é, torná-las mais avançadas, seja no tempo ou espaço. Um exemplo disto é a possibilidade de se movimentar com velocidades elevadas ou até mesmo aplicar forças incomuns. Ao mesmo tempo, pode-se modificar a medida do tempo, em que pode se observar ocorrências muito rápidas em frações de segundos, ou até mesmo observar

ocorrências e fenômenos muito lentos, que poderiam demorar séculos (TORI et al., 2006).

Para permitir a interação do usuário com objetos virtuais, utilizam-se recursos de programação, com os quais é possível associar comportamentos e reações aos objetos virtuais. No entanto, para interagir com o ambiente virtual, o usuário precisa utilizar algum equipamento, que pode ser um teclado, mouse, câmera e até mesmo comandos de voz. Para a visualização do ambiente virtual, o usuário pode usar o próprio monitor do computador, ou então dispositivos do tipo *Head-Mounted Display* - HMD. Realidade virtual pode ser usada para diversas aplicações, por exemplo: indústrias, medicina, arquitetura, educação, computação gráfica, jogos de computador, tratamento de fobias, entre outros (TORI et al., 2006).

2.6.4 Realidade Aumentada

De acordo com Saçashima (2011) a realidade aumentada pode ser definida como uma linha de pesquisa dentro da realidade virtual. Esta, trabalha com a realidade/virtualidade contínua e que deve apresentar interação em tempo real e entre objetos reais e virtuais entre si.

Segundo Tori et al. (2006) a realidade aumentada pode ser definida de vários modos:

- "uma realidade misturada, em que o ambiente principal é real ou há predominância do real";
- "o enriquecimento do ambiente real com objetos virtuais, usando algum dispositivo tecnológico";
- "uma melhoria do mundo real, com textos, imagens e objetos virtuais".

A maior parte dos exemplos em realidade aumentada está relacionado ao processamento de vídeo do ambiente real com a inserção de objetos virtuais em tempo real (Figura 4). Para se conferir uma aplicação de realidade aumentada, pode ser feito o uso de monitores, HMDs, projetores ou outros dispositivos de visualização (SAÇASHIMA, 2011).

2.6.5 Estereoscopia

De acordo com Martins e Ventura (2009) a visão tridimensional que se tem do mundo, é o processamento realizado pelo cérebro, que a partir de duas imagens bidimensionais obtidas



Figura 4 – Exemplo de Realidade Aumentada

Fonte: Merigo (2015)

por cada olho e que combinada com as informações sobre o grau de convergência e divergência gera como resultado uma imagem em 3D.

Estereoscopia é a capacidade de enxergar em três dimensões, isto é, de perceber a profundidade. O ponto principal do funcionamento dos dispositivos estereoscópicos é o oferecimento de imagens distintas aos olhos esquerdo e direito do ponto de vista do observador, com isso proporcionando sensação de profundidade, tal qual quando se observa um objeto real (SISCOUTTO et al.,).

Algumas das principais técnicas de estereoscopia são:

- **Imagem/Vídeo Estereoscópico (Exemplo na Figura 5):** O processo da estereoscopia pode ser simulado por meio da utilização de duas câmeras organizadas com a mesma distância interocular entre os olhos humanos (65mm). Quando cada imagem for apresentada ao olho correspondente, as imagens serão fundidas, de modo a produzir a ilusão de visão estereoscópica.
- **Estereoscópio:** É um instrumento composto por um par de lentes convexas, que direcionam as imagens para o olho correspondente.
- **Anáglifo:** É o nome dado às figuras cujo relevo se obtém por cores complementares (normalmente vermelho e verde ou azul esverdeado). Neste caso é necessário a utilização de filtros (geralmente feitos de papel celofane), um filtro na cor vermelha e outro verde/azul. Cada filtro somente deixa atingir o olho a cor correspondente, a partir disso, as duas imagens são separadas na observação e fundidas pelo cérebro em uma única imagem 3D.
- **Óculos Obturadores Sincronizados:** Nesta técnica, é feito uso de um óculos especial, em que as lentes podem ficar instantaneamente transparentes ou opacas, o motivo disso

é realizar o sincronismo com o sinal de vídeo, de modo a deixar, por exemplo, a lente esquerda opaca e a da direita transparente quando estiver sendo exibido o quadro referente ao olho direito e vice-versa.

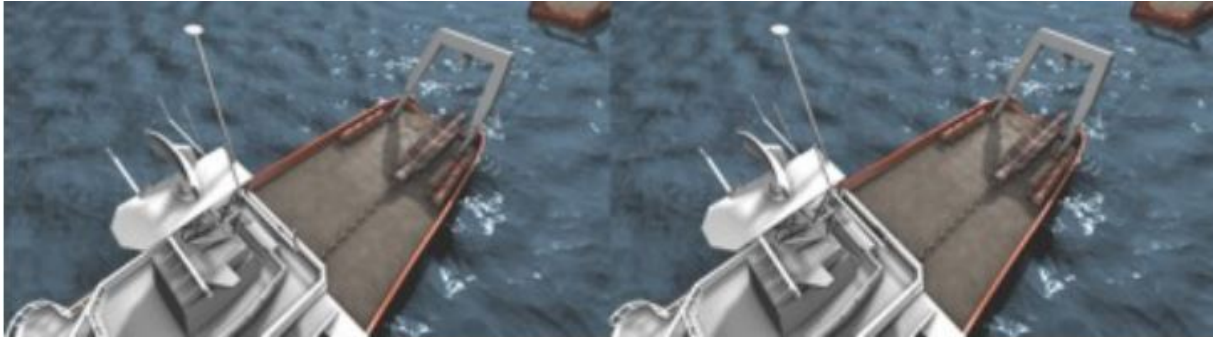


Figura 5 – Exemplo de uma Imagem Estereoscópica

Fonte: Siscoutto et al. ()

Geralmente as aplicações de estereoscopia são utilizadas em conjunto com realidade virtual ou aumentada, alguns exemplos são aplicações que permitem ver vídeos com estereoscopia visual (TecStereoPlayer, Vr Player) ou então aplicações do tipo Vídeo Avatar Estereoscópico (teleconferência em virtualidade aumentada - permite a integração de vídeo real estereoscópico em ambientes virtuais) (SISCOUTTO et al.,).

Outro exemplo seria o uso de duas câmeras (como se fossem os olhos) em um dispositivo controlado remotamente, afim de proporcionar ao operador a sensação de imersão no ambiente em que o dispositivo está situado.

2.6.6 Mapeamento de Ambientes em 3D

O avanço da tecnologia também tem tornado possível e cada vez mais constante a utilização de modelos tridimensionais para análises e projetos, os quais permitem uma interação intuitiva e mais próxima da realidade entre o observador e o objeto em estudo (FERREIRA, 2014).

Alguns exemplos de uso desta tecnologia são: o uso na arquitetura para registrar interiores de edifícios históricos; o uso na cultura e entretenimento, com a geração de modelos de museus e universidade para realização de visitas virtuais ou para jogos de vídeo game e filmes.

Outra aplicação muito importante é para a exploração de ambientes hostis ou de difícil acesso, ou seja, o mapeamento de ambientes é muito importante em tarefas de SAR, com isso podem ser adquiridas novas informações ricas para o entendimento do ambiente e para completar a tarefa com sucesso.

2.6.7 SLAM

O termo SLAM é um acrônimo para *Simultaneous Localization and Mapping*, foi originalmente desenvolvido por Hugh Durrant-Whyte e John J. Leonard com o interesse no problema de construção de mapas em um ambiente desconhecido por um dispositivo robótico em que ao mesmo tempo precisa navegar neste ambiente fazendo uso do mapa (RIISGAARD; BLAS, 2005).

SLAM é um simples problema do dia a dia, o problema de exploração espacial, por exemplo quando se entra em um local desconhecido, primeiramente é feita a observação do local, em seguida já é possível se mover neste espaço, pois já foi construído um modelo espacial deste lugar, ou seja, é possível saber onde está situado neste ambiente, planejar como pode mover para o local desejado, como sair e entre outras tarefas (SOLÀ, 2012).

Um sistema mínimo para SLAM envolve um agente que pode se mover (por exemplo, um robô) e que deve conter ao menos um tipo de sensor que seja capaz de coletar informações sobre o ambiente (câmeras, LIDAR, sonar e entre outros sensores exteroceptivos), opcionalmente o agente pode conter outros sensores para medir o movimento do robô (*encoders* para rodas, acelerômetros, girômetros, ou outros sensores proprioceptivos) (SOLÀ, 2012).

2.7 POSSÍVEIS PROBLEMAS

Após descrever sobre a robótica controlada remotamente e visão computacional, deve levar-se em conta de que quando tais tecnologias estão sendo utilizadas em situações no mundo real existem muitos fatores que podem influenciar para que estas tecnologias falhem. Entre eles podem se citar: latência, largura de banda e problemas com poder de processamento.

Latência é o atraso entre enviar e receber um pacote de dados em um destino qualquer. A latência existe em praticamente todos os casos, entretanto, dependendo da situação, ela pode

ser constante ou então pode variar bastante dependendo do ambiente em que se situa. Tal situação ocorre tanto na robótica assim como também na visão computacional. No primeiro caso, percebe-se que existe a latência quando o operador está enviando um comando para o robô executar e este demora algum tempo, e no segundo caso, quando o robô executou uma tarefa, porém o operador só recebeu a informação algum tempo depois (BROWNBRIDGE, 2008).

Segundo Brownbridge (2008) largura de banda é a quantidade de dados que podem ser enviados por meio do canal de comunicação dada uma quantidade de tempo. Isto pode influenciar em casos em que há grandes variações da largura de banda, fazendo com que a quantidade de informações enviadas para o operador seja menor. Por exemplo, no caso da visão computacional, o operador perceberia que o vídeo está "travando" ou então com uma qualidade menor do que anteriormente.

3 METODOLOGIA

A proposta deste trabalho foi desenvolver um dispositivo robótico controlado remotamente, com câmeras que, possibilite ao operador uma imersão no ambiente por meio de técnicas de estereoscopia, e que permita reconstruir o ambiente em três dimensões. Para tanto, foi necessária a integração das várias tecnologias apresentadas. Para essa integração foi desenvolvido um sistema embarcado para o dispositivo robótico e um sistema de controle para o operador.

O esquema de funcionamento deste trabalho é apresentado na Figura 6.

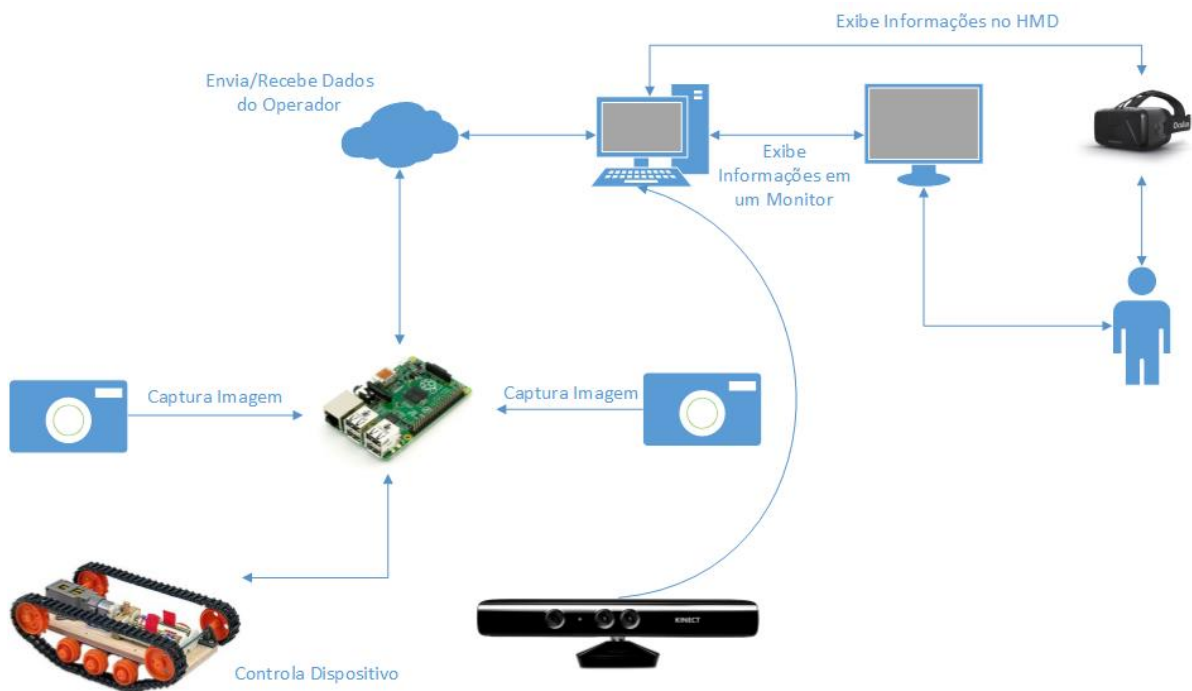


Figura 6 – Diagrama de Funcionamento

Fonte: Autoria Própria

Para que o desenvolvimento deste trabalho possa ser atingido, uma série de ações foram desenvolvidas, e estas serão descritas a seguir.

3.1 DISPOSITIVO ROBÓTICO

O dispositivo robótico desenvolvido para este trabalho possui habilidades de se movimentar e de enxergar o ambiente. Para realizar a movimentação, duas esteiras são utilizadas em conjunto com dois motores de corrente contínua e para enxergar o ambiente, são utilizadas duas câmeras convencionais e um Kinect.

3.1.1 Estrutura

Para a movimentação do dispositivo foram utilizados dois motores de corrente contínua, cada um conectado a um eixo distinto que controla um lado específico, ou seja, o motor frontal tem o controle da esteira do lado direito e o motor traseiro tem o controle da esteira do lado esquerdo. A partir disto, é possível fazer com que o dispositivo se mova para frente, para trás e também girar sobre o próprio eixo de modo a realizar curvas. A Figura 7 mostra como é a base do dispositivo robótico, sendo necessário ainda fazer a implementação da visão e do sistema embarcado.

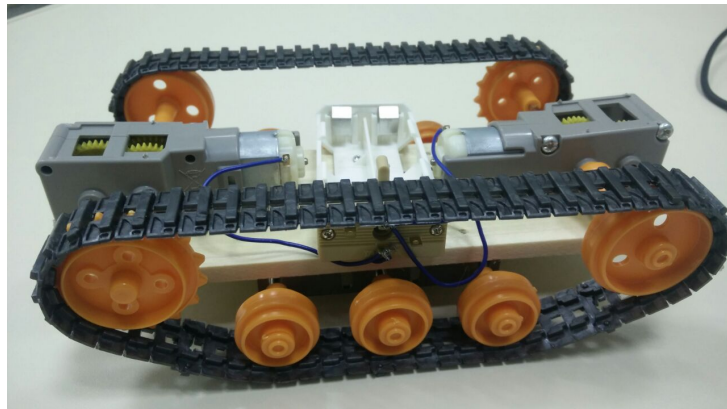


Figura 7 – Base do Dispositivo robótico

Fonte: Autoria Própria

3.1.2 Visão

A visão do dispositivo robótico é feita por meio de duas câmeras comuns da marca Satellite modelo WB-536, que possuem a resolução de 640x480 pixels mas que usando interpolação consegue capturar até 2560x1920 pixels. Para realizar o processo de estereoscopia, as câmeras foram organizadas conforme a Figura 8.

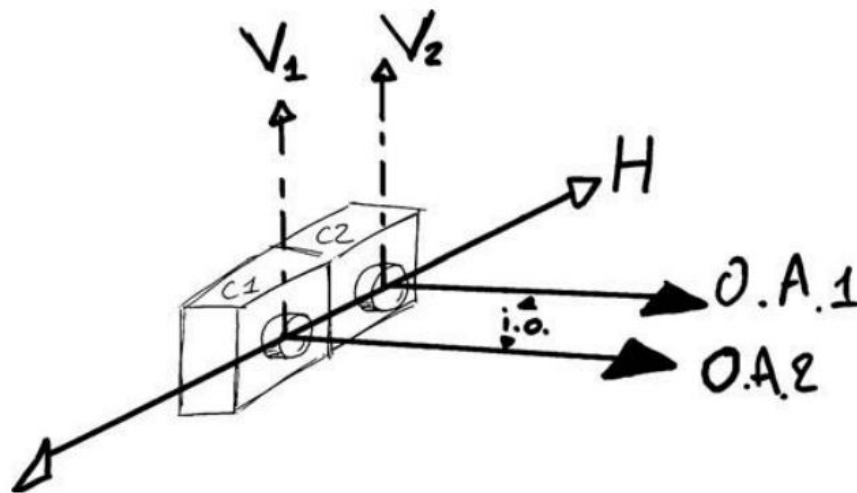


Figura 8 – Posicionamento das Câmeras

Fonte: (ANDRADE et al., 2010)

Para realizar a captura das imagens utilizando-se da técnica de câmeras em arranjo binocular é um procedimento sistemático e trabalhoso, em que vários parâmetros devem ser ajustados, isto porque o mais simples desajuste do par estéreo resulta em uma experiência desconfortável ao operador (ANDRADE et al., 2010).

Segundo Andrade et al. (2010), o posicionamento das câmeras deve seguir a um alinhamento rigoroso conforme a Figura 8, de modo a não incorrer distorções à geometria das imagens obtidas. Os eixos ópticos $O.A$ devem possuir a mesma distância interocular dos olhos humanos (65mm) e devem permanecer em paralelo. Para situações em que o foco é próximo das câmeras, os autores ainda descrevem que os eixos devem se cruzar de modo a simular um envergamento estrábico, ou seja, deve haver uma rotação dos eixos verticais V . Por fim, é imperativo em que ambas as câmeras estejam repousando sobre o mesmo eixo horizontal H .

As características das câmeras como comprimento focal, distância de foco, abertura de

diafragma e velocidade de obturação, constituem parâmetros técnicos de ajuste individual que devem permanecer idênticos para ambas as câmeras.

Outro modo de visão é por meio da utilização do Kinect, o qual possui uma câmera com resolução de 640x480 pixels, emissor e receptor infravermelho, além de outros sensores como, microfone e acelerômetros.

3.1.3 Aplicação

O sistema embarcado é o responsável por gerenciar a movimentação e parte da visão do dispositivo, e para isto foi utilizado um SBC do modelo Banana PI. A Figura 9 mostra o diagrama de classe da aplicação desenvolvida.

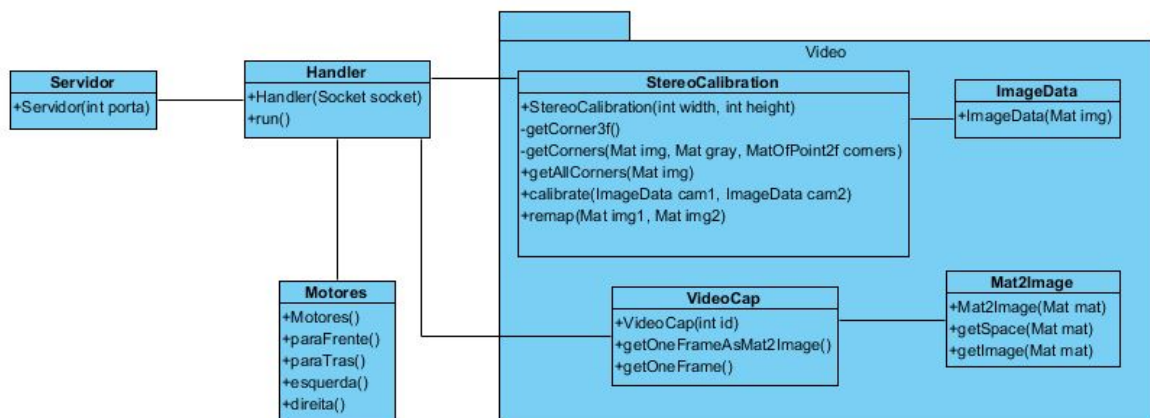


Figura 9 – Diagrama da Aplicação Servidor

Fonte: Autoria Própria

A aplicação foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação Java em conjunto com a biblioteca Pi4J, a qual implementa o acesso completo para as entradas/saídas disponíveis na plataforma do Banana PI. Com o uso do Pi4J é possível realizar o controle dos motores.

Para a visão do dispositivo foi utilizado o OpenCV, uma biblioteca que contém mais de 2500 algoritmos otimizados para serem utilizados na área de processamento de imagens e visão computacional. A partir do OpenCV foi possível realizar a captura e calibração das imagens.

A Figura 10 mostra o dispositivo robótico pronto para o trabalho.

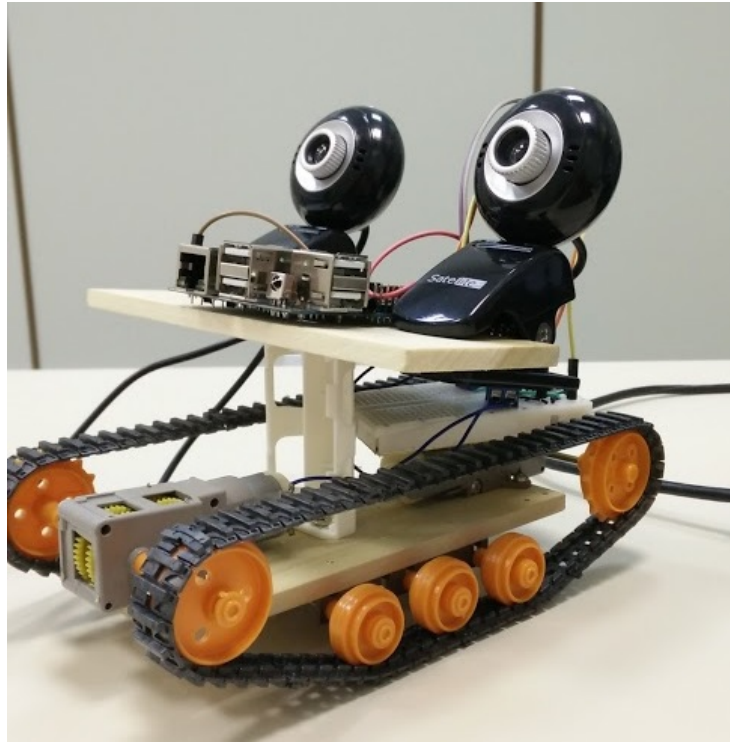


Figura 10 – Dispositivo Robótico Pronto

Fonte: Autoria Própria

3.2 SISTEMA DE CONTROLE REMOTO

Com o sistema de controle remoto o operador pode controlar o dispositivo robótico, também é por ele em que a visualização das informações captadas pelo dispositivo robótico ocorre. O sistema de controle remoto foi dividido em duas partes, a aplicação de controle e a para o mapeamento.

3.2.1 Aplicação de Controle

A aplicação de controle se conecta diretamente com o dispositivo robótico, ou seja, recebe as informações das câmeras ou então solicita que o dispositivo se movimente. Existem alguns meios para desenvolver esta aplicação:

- Com a utilização do *Software Development Kit* (SDK) disponibilizado com o HMD ¹ em conjunto com alguma linguagem de programação para realizar a captura das imagens e combiná-las manualmente.
- Fazendo uso de uma linguagem de programação para capturar as imagens e colocá-las lado a lado, semelhante a Figura 5.
- Também é possível por meio da utilização de uma *game engine* (um ambiente de desenvolvimento de jogos), como por exemplo a Unity3D² ou a Unreal³, tais *game engines* provêm um modo mais fácil e rápido de utilizar tais tecnologias, conseqüentemente um modo mais fácil de integrar tudo isto.

Todos os meios foram testados em relação a captura e apresentação das imagens no HMD, entretanto, o meio escolhido para desenvolver esta aplicação foi do uso da linguagem de programação Java. A Figura 11 mostra o diagrama de classe da aplicação desenvolvida.

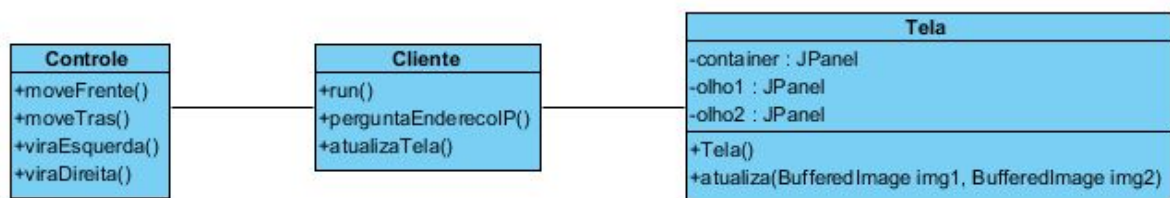


Figura 11 – Diagrama da aplicação de controle

Fonte: Autoria Própria

Por meio desta aplicação foi realizada a recepção e exibição das imagens, assim como parte do controle da movimentação do dispositivo robótico. Para a exibição das imagens foram utilizados dois painéis separados, do tipo JPanel, no qual, cada um ocupa metade da tela. A parte de controle é a responsável por ficar esperando pelo operador informar o que deseja que o dispositivo faça, por exemplo, quando o operador apertar a tecla "Seta para Cima", será enviado um comando para o dispositivo robótico para que ele se movimente para frente.

¹Disponível em <https://developer.oculus.com/downloads/>

²Disponível em <https://unity3d.com/>

³Disponível em <https://www.unrealengine.com/>

3.2.2 Aplicação de mapeamento

A aplicação para o mapeamento recebe as informações diretamente do Kinect e realiza a reconstrução em 3D a partir destas informações. Esta é feita por meio da utilização da aplicação Kinect Fusion, que vem junto com o *Kinect Developer Toolkit*⁴. A aplicação faz uso dos sensores disponíveis, ou seja, uma câmera e um sensor de profundidade infravermelho.

O Kinect Fusion permite aos usuários reconstruírem uma cena em 3D com alta fidelidade, e em tempo real, com o uso de um Kinect comum. Este fundamenta-se em técnicas de reconstrução 3D automática de superfície baseada em imagens bidimensionais e mapas de profundidade (MICROSOFT, 2016).

A função do Kinect Fusion é reconstruir um único modelo 3D, para isto, é realizada a integração dos dados de profundidade ao longo do tempo a partir de múltiplos pontos de vista, um exemplo disso é a Figura 12. A posição da câmera é rastreada conforme o dispositivo é movido (tanto a localização quanto orientação), já que se sabe a posição da câmera para cada quadro capturado e como se relaciona com os outros quadros, é possível relacionar os pontos de vistas de modo a serem fundidos em uma única reconstrução (MICROSOFT, 2016).

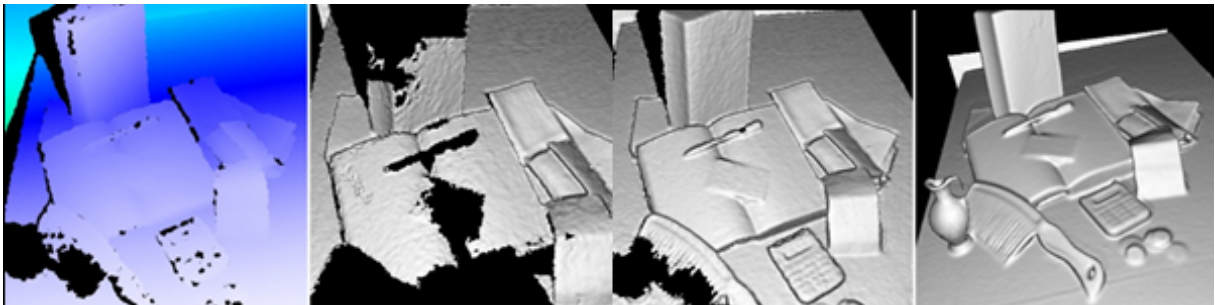


Figura 12 – Exemplo de reconstrução 3D utilizando o Kinect Fusion

Fonte: (MICROSOFT, 2016)

Um ponto importante desta aplicação é que ela funciona bem em cenários em que o sensor está parado e o objeto em movimento, ou então, em que a cena está parada mas o sensor está em movimento (MICROSOFT, 2016).

⁴Disponível em <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect/tools>

3.2.3 Visualização das Informações

Para visualizar as informações captadas, o operador pode utilizar um monitor convencional ou então um *Head-Mounted Display*. Com a utilização do HMD em conjunto com a técnica de Imagem/Vídeo Estereoscópico pode-se trazer diversos benefícios, como a melhora na percepção visual e a sensação de distância do operador, possibilitando-o a produzir melhor análise da situação e a realização de ações mais eficientes (AMANATIADIS et al., 2008).

As informações captadas pelo dispositivo podem ser exibidas de dois modos (Figura 13), sendo o primeiro por meio da visualização das imagens das câmeras de modo estereoscópico (Realidade Aumentada), e por meio do resultado da reconstrução do ambiente em 3D (Realidade Virtual).



Figura 13 – Modos de visualização (a) Realidade Aumentada e (b) Realidade Virtual

Fonte: Autoria Própria

Como opção para o Head-Mounted Display foi utilizado um Oculus Rift, o qual por meio da tela de 5.7” Super AMOLED consegue exibir o vídeo com resolução de 960x1080 pixels para cada olho e com um campo de visão de 100 graus, além disto também há sensores como acelerômetro, giroscópio e magnetômetro embutidos no dispositivo.

3.3 COMUNICAÇÃO

Há vários modos para realizar a comunicação entre o dispositivo e o sistema de controle do mesmo, os modos mais comuns para a comunicação de dados são por meio da conexão cabeada ou então por meio de uma conexão sem fio.

Para este trabalho toda a comunicação foi realizada por meio da conexão cabeada, entretanto isto pode ser alterado facilmente desde que o protocolo de comunicação continue o mesmo.

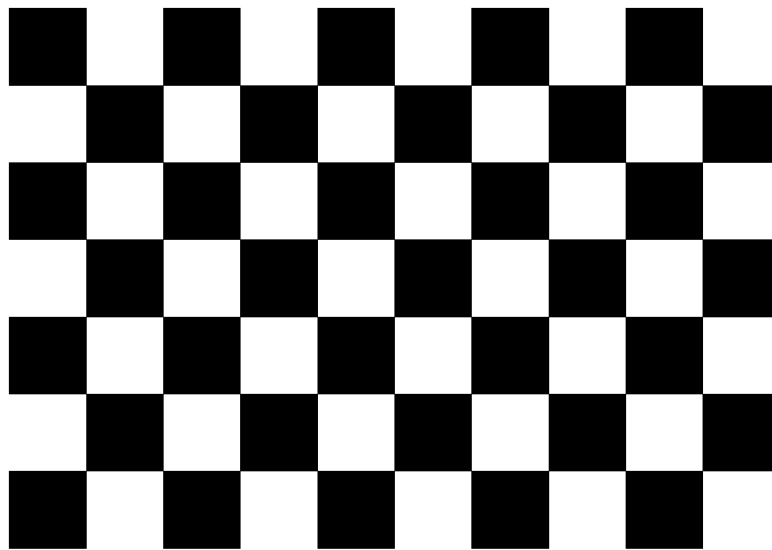
Esta aplicação desenvolvida funciona na arquitetura cliente-servidor, ou seja, o servidor fornece funções ou serviços para um ou mais clientes, que fazem pedidos de serviço. Para desenvolver esta comunicação foi feita a utilização de *sockets*, que é uma forma básica de comunicação entre computadores, atua trabalhando como interface entre a camada de aplicação e a de transporte, possibilitando o envio de comandos de um computador para o outro, um operando como servidor e outro como cliente.

3.4 CALIBRAÇÃO DAS CÂMERAS

Durante o processo de produção das câmeras pode acontecer problemas envolvendo o posicionamento incorreto das lentes ou até mesmo imprecisão das lentes, uma solução para evitar esses problemas é realizar a calibração das câmeras.

O objetivo da calibração é descobrir os parâmetros intrínsecos e extrínsecos da câmera, ou seja, valores específicos que podem ser usados para medir distâncias em unidades de comprimento e não em pixels. Parâmetros intrínsecos incluem o comprimento focal, formato de imagem e o ponto principal, já os extrínsecos representam a coordenada de transformação de mundo 3D para o modelo de câmera 3D.

Um procedimento padrão para realizar esta calibração é usar o padrão de tabuleiro de xadrez (Figura 14), isto pelo fato de que os pontos de canto são amplamente definidos e o tabuleiro é plano, conseqüentemente não é preciso se preocupar com a profundidade. Durante o procedimento o tabuleiro deve ser posicionado de diferentes modos para se obter uma melhor calibração.



This file is part of
OpenCV chessboard
<http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/>

Figura 14 – Padrão do tabuleiro de xadrez

Fonte: (OPENCV, 2016)

O OpenCV possui um grande suporte para realizar a calibração, além de prover um modo conveniente de realizá-lo. Os passos básicos para realizar são:

1. Capturar as imagens das câmeras;
2. Converter ambas as imagens para escala de cinza;
3. Usar as imagens em escala de cinza no método *findChessboardCorners* para encontrar os pontos de canto no tabuleiro de xadrez;
4. Após ser encontrado os pontos em ambas as imagens, eles devem ser passados para o método *stereoCalibrate*;
5. Os parâmetros encontrados anteriormente devem passar por um outro método *stereoRectify*, o qual inicia o processo de retificação dos dados;
6. O último passo é remover a distorção e remapear as imagens, para isso são informados os dados anteriores para os métodos *initUndistortRectifyMap* e *remap*.

3.5 INICIANDO AS APLICAÇÕES

O primeiro passo para iniciar a aplicação no dispositivo robótico é realizar a calibração das câmeras, em seguida uma conexão *socket* é iniciada e aguarda por um cliente se conectar. Após a conexão cliente-servidor ser estabelecida, o software fica recebendo informações do cliente conectado, ou seja, quando o cliente envia um comando, este é analisado e em seguida é realizada a ação solicitada no dispositivo. Por exemplo, o cliente envia o comando "Para Frente", a SBC (servidor) recebe esse comando e analisa quais são as sequências de passos necessárias, neste caso, acionar ambos os motores para frente.

O servidor realiza a transmissão constante de ambas as câmeras de vídeo para o cliente conectado, entretanto, para a utilização do Kinect, ainda se faz necessário em que ele seja conectado diretamente com o computador do operador. O diagrama de atividade da aplicação é apresentado na Figura 15.

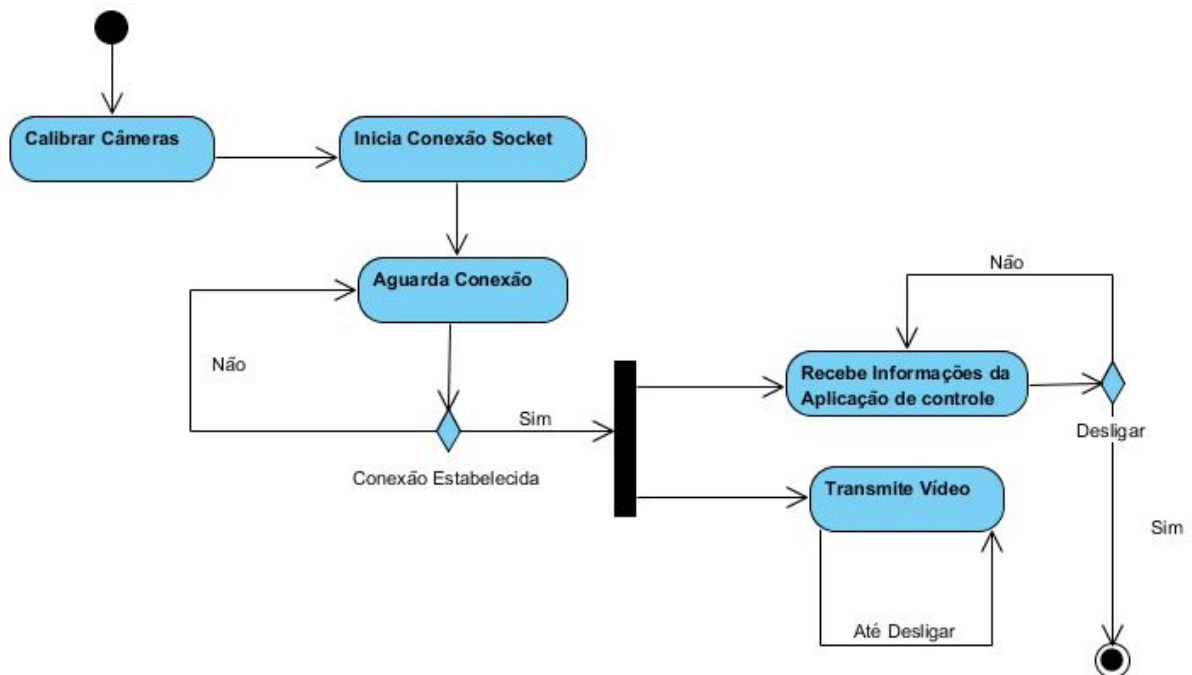


Figura 15 – Diagrama de atividade do início da aplicação servidor

Fonte: Autoria Própria

Para iniciar a aplicação no sistema de controle remoto é preciso esperar que a aplicação no dispositivo robótico inicie a conexão *socket*, caso contrário não é possível se conectar. Após conectado a aplicação já estará recebendo informações do servidor, assim como também pode

realizar as requisições para o dispositivo se movimentar. O diagrama de sequencia da aplicação de controle é apresentado na Figura 16.

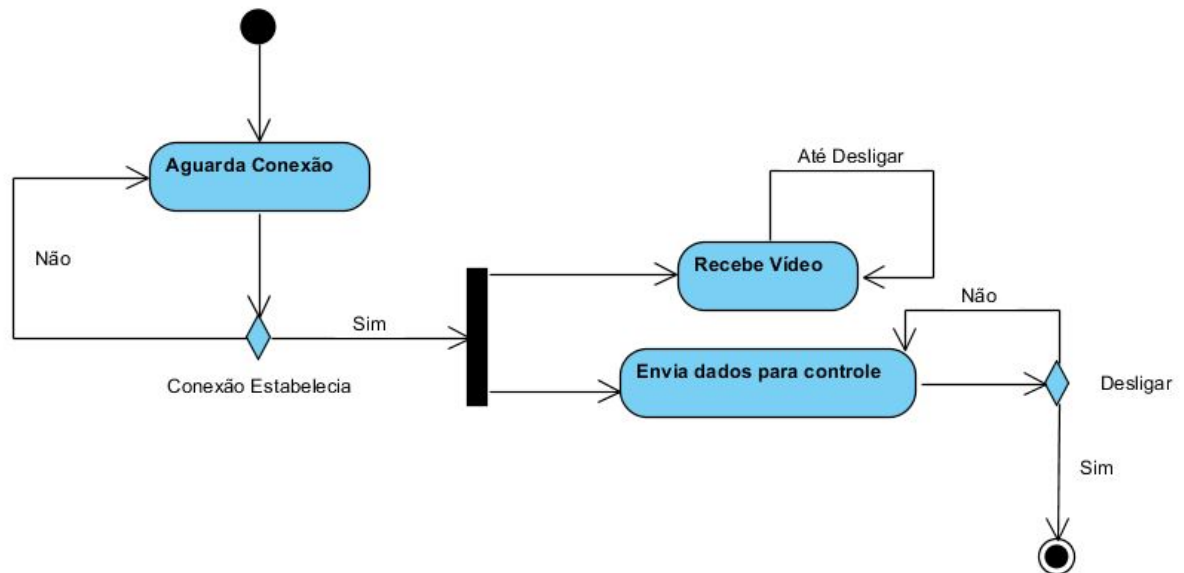


Figura 16 – Diagrama de atividade do início da aplicação de controle

Fonte: Autoria Própria

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para testar a integração sugerida, uma série de experimentos foram realizados. Inicialmente, analisou-se a média de quadros por segundo (*Frames Per Second* - FPS), conforto/percepção visual e o mapeamento do ambiente em duas situações.

Os experimentos referentes a estereoscopia foram realizados utilizando o Banana PI e um Notebook, sendo o Banana PI responsável pela captura e transmissão do vídeo, e o Notebook por receber e exibir o vídeo no HMD. Os experimentos referentes ao mapeamento foram executados com o Kinect conectado diretamente ao Notebook, o qual executa a aplicação Kinect Fusion, que é responsável pelo mapeamento.

O Notebook utilizado possui as seguintes configurações: Processador Intel Core I7 4700MQ 2.4 GHz com 6MB de cache, 16 GB de memória DDR3 (1600MHZ), SSD de 120GB, e placa de vídeo GeForce GT 750M 2GB GDDR5.

O FPS foi analisado para conferir se a aplicação desenvolvida estava conseguindo aproveitar ao máximo todas as tecnologias disponíveis, ou seja, se estaria conseguindo enviar o vídeo com a capacidade máxima possível das câmeras. O resultado foi que a implementação se comportou bem em relação ao FPS, conseguindo manter a taxa máxima possível das câmeras da Satellite (8 FPS). Entretanto, sabe-se que esta taxa é baixa e que deve ser estudada com mais cuidado. Como não haviam duas outras câmeras da mesma marca e modelo, foi utilizada uma única câmera com melhor qualidade, sendo assim replicadas as imagens para os dois painéis. Apesar de se perder a estereoscopia, foi possível testar o desempenho, como resultado, foi uma taxa estável de 24 FPS.

A análise do conforto visual foi para conferir se estava sendo possível ter a sensação de estereoscopia, ou seja, se os parâmetros do par estéreo estavam bem ajustado, assim como, se as imagens das câmeras estavam bem calibradas. Neste trabalho considera-se o resultado plausível a partir dos equipamentos disponíveis, podendo observar o ambiente e conseguindo ter uma boa sensação de estereoscopia.

Em relação ao mapeamento do ambiente, foram realizados experimentos baseados em duas situações citadas por Microsoft (2016), a primeira situação é no caso de cenários em que o sensor está parado e o objeto em movimento, de modo a tentar escanear tal objeto, já a segunda

situação, é quando a cena está parada mas o sensor está em movimento, ou seja, realizar o mapeamento do local.

4.1 SENSOR PARADO E OBJETO EM MOVIMENTO

O primeiro experimento foi posicionar uma caneca em cima de uma superfície plana, e em seguida rotacionar esta caneca de modo a tentar reconstruir em 3D toda a caneca.

O resultado não foi o esperado, ao girar a caneca foi notado que o objeto estava sendo recriado novamente, e isso foi confirmado após exportar o modelo gerado pelo Kinect Fusion e apresentado em um software de renderização 3D (Blender¹). A Figura 17 (a) apresenta a reconstrução realizada no Kinect Fusion, (b) o modelo gerado e apresentado no Blender, como se pode ver somente a parte visível da caneca foi recriada, mesmo com o objeto sendo girado.

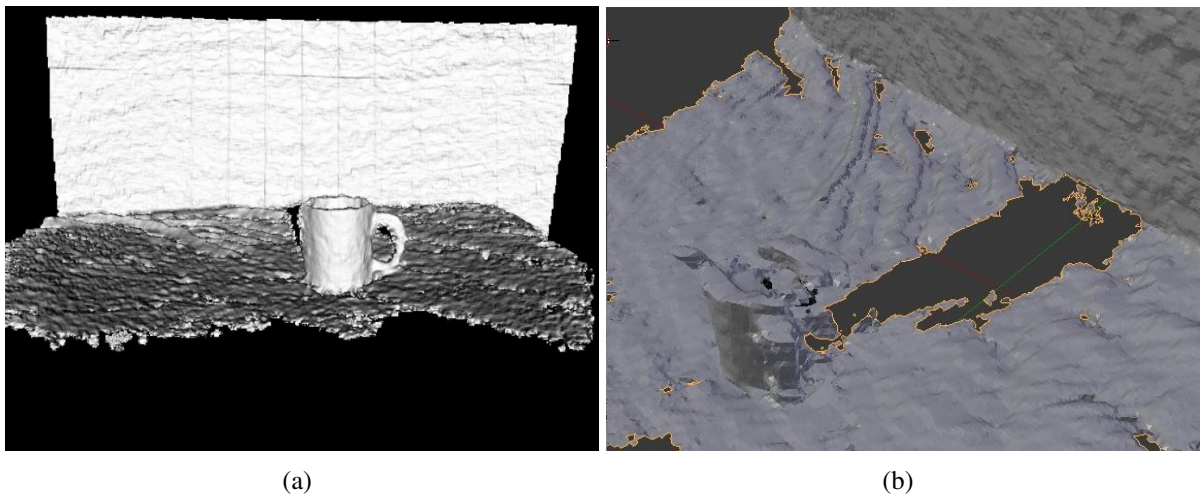


Figura 17 – Girando a caneca (a) Visualização no Kinect Fusion e (b) Visualização no Blender

Fonte: Autoria Própria

Um outro experimento foi realizado com o intuito de verificar se com a movimentação de um local para o outro seria possível reconstruir o objeto. A Figura 18 apresenta o resultado, que foi satisfatório, dado que o objeto foi movimentado para o lado e em pouco tempo foi recriado novamente.

¹Disponível em <https://www.blender.org/>

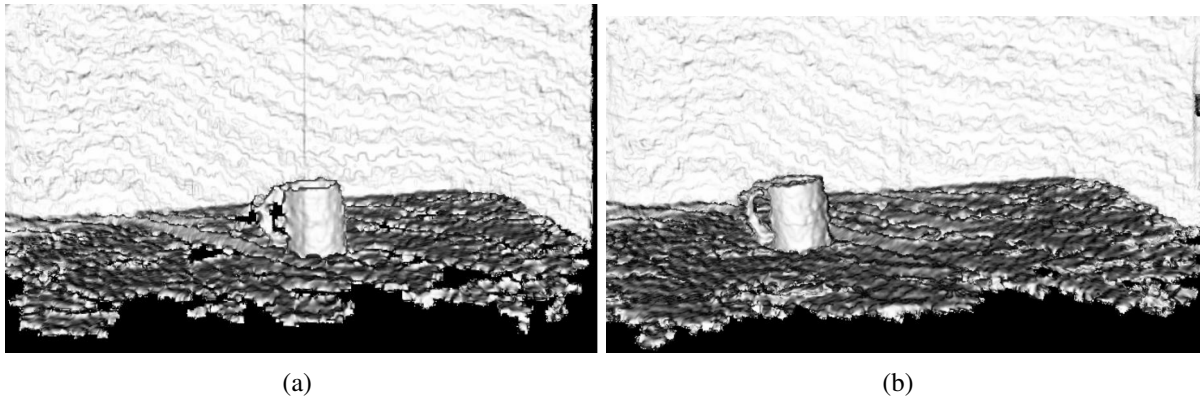


Figura 18 – Movendo a caneca (a) Primeiro instante (b) Após mover a caneca

Fonte: Autoria Própria

4.2 SENSOR EM MOVIMENTO E AMBIENTE PARADO

Para este experimento foram feitos os testes de duas maneiras, a primeira, movendo o Kinect em linha reta dentro de uma sala, de modo a verificar se a reconstrução seria contínua, e a segunda foi movendo o Kinect de modo a escanear um objeto.

A Figura 19 mostra o resultado do primeiro experimento, (a) mostra o ambiente reconstruído no primeiro instante e (b) após movimentador o Kinect para frente. Como pode ser observado, ao mover um pouco para frente, a parte que deixou de ser visível foi removida do modelo 3D.

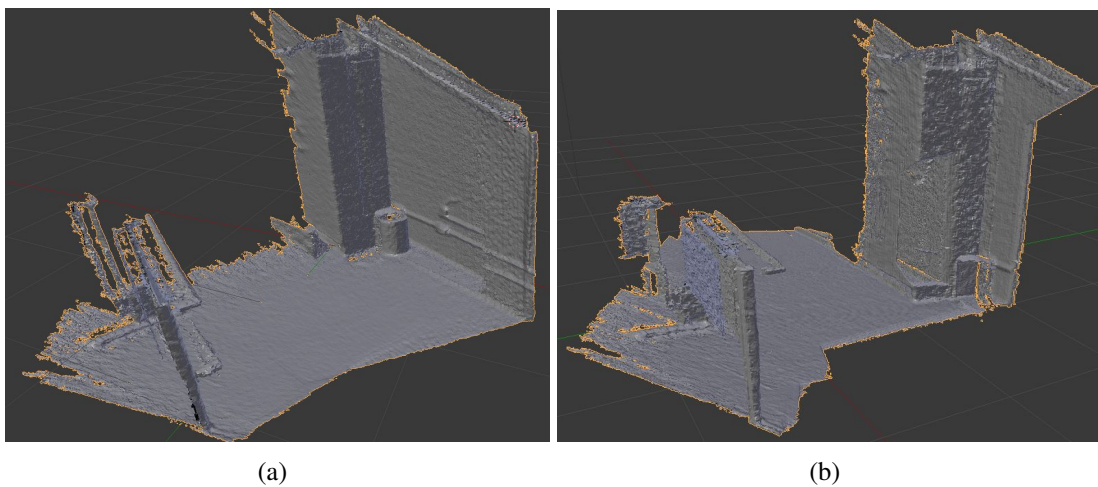


Figura 19 – Movendo o Kinect (a) Primeiro instante (b) Após mover para frente

Fonte: Autoria Própria

O resultado do segundo experimento é apresentado na Figura 20, em que (a) mostra o primeiro instante da reconstrução e (b) após movimentar o Kinect ao redor do objeto. O resultado foi melhor do que os anteriores, no qual foi possível reconstruir o objeto com uma melhor qualidade e não perdendo informações relacionadas ao primeiro instante.

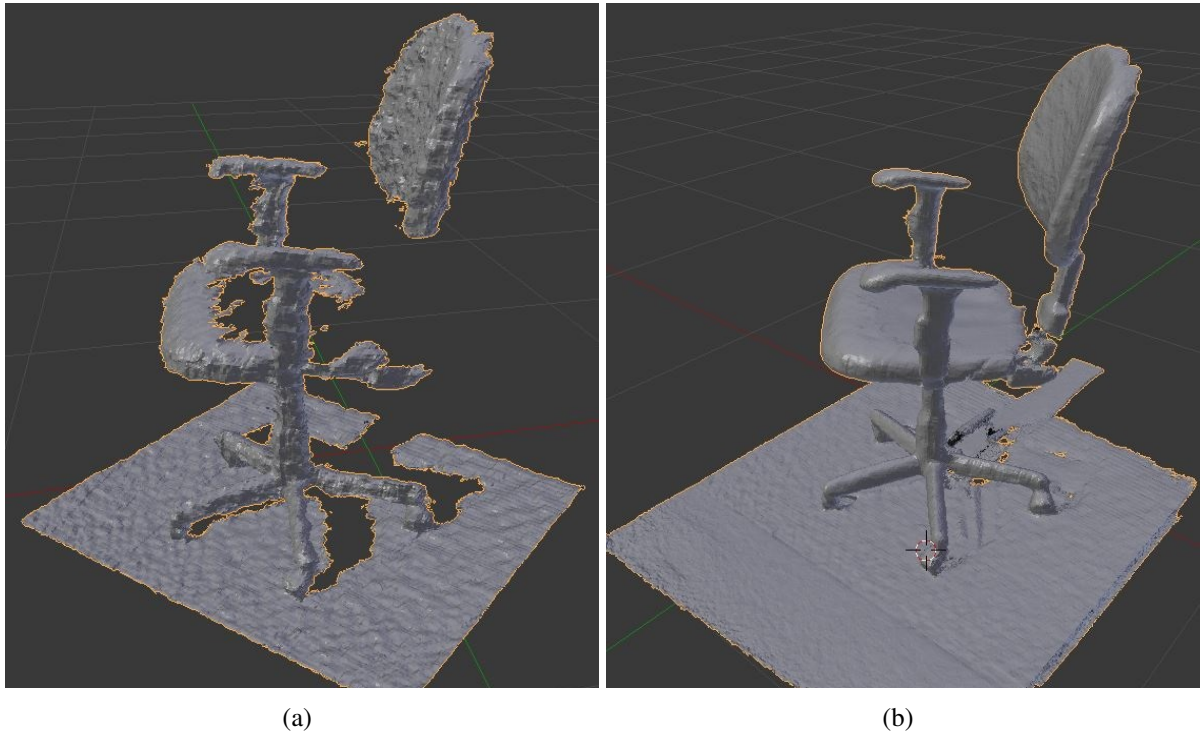


Figura 20 – Movendo o Kinect (a) Primeiro instante (b) Após mover ao redor

Fonte: Autoria Própria

5 CONCLUSÕES

Um dos objetivos deste trabalho foi projetar e montar a estrutura física do dispositivo robótico. Em conjunto com a estrutura, também foi projetado o sistema embarcado, o qual é responsável por gerenciar a movimentação e parte da visão do dispositivo.

Para o controle do dispositivo robótico, foi desenvolvido um sistema no qual o operador pode controlar a movimentação (andar para frente, para trás e virar), assim como, visualizar o ambiente por meio do HMD ou do mapeamento 3D.

O desenvolvimento não foi uma tarefa simples, e exigiu uma grande demanda de tempo para pesquisas e testes. Exemplos de coisas simples mas que tomaram tempo, foi achar o *driver* do Oculus Rift¹ para que reconhecesse o dispositivo e exibisse a imagem corretamente, e também compilar o OpenCV no Banana Pi (Apêndice A).

A partir da integração desenvolvida analisou-se a possibilidade de utilização das tecnologias para a solução do problema de um operador em uma situação de *Search and Rescue* – avaliando se as técnicas aplicadas produziram um melhor desempenho ao operador.

A visualização do ambiente utilizando a técnica de estereoscopia produziu um bom resultado a partir das câmeras disponíveis, sendo possível visualizar o ambiente e ter a sensação de profundidade. Entretanto, a partir deste estudo, ainda não é possível afirmar que isto produz um resultado melhor para um operador de SAR, porém, é uma tecnologia promissora.

Em relação ao mapeamento de ambientes, o resultado foi abaixo do esperado, sendo possível reconstruir algumas cenas, mas não do modo que era esperado, portanto, a utilização do aplicativo Kinect Fusion para realizar o mapeamento não foi uma boa escolha.

Para a comunicação da aplicação de controle com o dispositivo robótico foram utilizados cabos, entretanto, o meio de comunicação mais adequado para este trabalho seria com a utilização de uma comunicação sem fio, pelo motivo de que não se sabe a distância ou então como é o ambiente em que o dispositivo robótico estaria se movimentando.

O protótipo desenvolvido atende as propostas iniciais, porém não é um dispositivo pronto para uso em ambientes de SAR e exige algumas melhorias, tanto em sua estrutura, equipamentos e no meio de comunicação utilizado.

¹As versões mais recentes dos *drivers* limitam certas configurações de hardware.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Alguns tópicos que devem ser estudados, em projetos futuros, são a utilização de câmeras melhores, bem como medir o tempo de resposta em uma situação remota e até mesmo realizar uma pesquisa com um grupo de voluntários para verificar a questão do conforto visual.

Um ponto importante e que não foi possível estudar neste trabalho é o citado por STEPTOE (2014), que para se obter um melhor resultado na integração das câmeras com o *Head-Mounted Display* deve-se observar que existem alguns modelos de câmeras que podem ter melhores resultados sobre outras, no caso de realizar a técnica de estereoscopia em conjunto com a utilização de um HMD, se faz necessário o uso de câmeras que gerem imagens compatíveis com a do equipamento. Um exemplo disso é no caso de quando se possui um campo de visão de 50 graus, se utilizado uma câmera que possui o campo de visão menor, a imagem não seria exibida completamente, e caso seja maior, o excesso não seria exibido ou então a imagem seria exibida distorcida.

O mapeamento de ambientes teve um resultado abaixo do esperado neste trabalho, e é um dos principais pontos que deve ser estudado em um trabalho futuro. Após os experimentos serem realizados, foi encontrado o trabalho realizado por Whelan et al. (2012), o qual propôs uma extensão do algoritmo do Kinect Fusion e que parece promissor para tentar realizar o mapeamento, uma outra continuação também poderia ser pela alteração deste sensor, ao invés de utilizar o Kinect, poderia ser usado um sensor do tipo LIDAR.

A visualização do ambiente utilizando a técnica de estereoscopia é um ponto em que ainda há necessidade de se estudar mais, de modo a poder afirmar que a tecnologia é melhor para um operador em situação de SAR. Um outro ponto em relação a SAR, e que deve ser estudado em um trabalho futuro é a utilização de um sistema de SLAM, ou seja, melhorar o mapeamento 3D do local, realizar o rastreamento da posição e do caminho já feito pelo dispositivo robótico.

Quanto ao meio de comunicação utilizado, o mais recomendado para o controle de um dispositivo robótico em situação de SAR seria com a utilização de um meio sem fio, entretanto, isto é um outro tópico que deve ser estudado em um trabalho futuro, pelo motivo de que mesmo com a utilização de um meio sem fio ainda pode ocorrer problemas, por exemplo, este meio pode não suportar enviar todos os dados para o sistema de controle sem que haja problemas com latência ou então largura de banda.

Existem muitas outras coisas que podem ser estudadas, os tópicos citados são somente alguns em relação a uma infinidade de coisas que podem ser estudadas sobre este tema.

APÊNDICE A – INSTALAR E CONFIGURAR O OPENCV NO BANANA PI

Neste trabalho foi feita a utilização da versão 2.4.10 do OpenCV, e do sistema operacional Raspbian instalado no Banana PI. O primeiro passo foi instalar algumas dependências utilizando o comando *apt-get*, em seguida foi compilado o OpenCV e por último configurado junto com a aplicação Java.

As dependências estão divididas da seguinte forma: Ferramentas de pacote e de compilação, entrada/saída de imagem e vídeo, interface gráfica, bibliotecas de otimização do OpenCV.

Para instalar as ferramentas de pacote e de compilação pode ser feita a utilização do seguinte comando:

```
1 $ sudo apt-get install build-essential cmake pkg-config
```

Para instalar as dependências de entrada/saída de imagens e vídeos, ou seja, pacotes que permitem carregar e salvar imagens em formatos JPEG, PGN, TIFF e que permite a utilização de vídeos.

```
1 $ sudo apt-get install libjpeg8-dev libtiff4-dev libjasper-dev
  libpng12-dev
2 $ sudo apt-get install libavcodec-dev libavformat-dev libswscale-
  dev libv4l-dev
```

Os pacotes para Interface Gráfica, ou seja, que permite visualizar as imagens na tela, podem ser instalados fazendo o uso do comando:

```
1 $ sudo apt-get install libgtk2.0-dev
```

Por último entre as dependências instala-se as bibliotecas que são utilizadas para otimizar várias operações do OpenCV.

```
1 $ sudo apt-get install libatlas-base-dev gfortran
```

Após a instalações das dependências é necessário realizar o download do OpenCV e descompactar, que pode ser realizado da seguinte maneira:

```
1 $ wget -O opencv-2.4.10.zip http://sourceforge.net/projects/
  opencvlibrary/files/opencv-unix/2.4.10/opencv-2.4.10.zip/
  download
```



```

2 $ unzip opencv-2.4.10.zip
3 $ cd opencv-2.4.10

```

Para o processo de compilação do OpenCV, um detalhe importante é verificar se a variável de ambiente `JAVA_HOME` está configurada, caso não esteja, é preciso configurar com o diretório padrão do Java.

Para o processo de compilação é recomendado criar um diretório em que será salvo o resultado da compilação. Após ter criado e acessado o diretório, pode-se compilar usando o seguinte comando:

```

1 cmake -D CMAKE_BUILD_TYPE=RELEASE -D WITH_OPENCL=OFF -D
    BUILD_PERF_TESTS=OFF -DJAVA_INCLUDE_PATH=$JAVA_HOME/include -
    DJAVA_AWT_LIBRARY=$JAVA_HOME/jre/lib/amd64/libawt.so -
    DJAVA_JVM_LIBRARY=$JAVA_HOME/jre/lib/arm/server/libjvm.so -D
    CMAKE_INSTALL_PREFIX=/usr/local ..
2 sudo make
3 sudo make install

```

Após terminar a compilação, a biblioteca java (*opencv-2410.jar*) e as bibliotecas nativas do OpenCV estarão disponíveis no diretório criado anteriormente dentro da subpasta */bin*.

Outro detalhe importante é que tanto o *jar* quanto as bibliotecas nativas devem estar no mesmo diretório do projeto.

Para compilar e executar uma aplicação com o OpenCV:

```

1 $ export LD_LIBRARY_PATH=/DIRETORIO_COM_BIBLIOTECAS_NATIVAS
2 $ javac -classpath opencv-2410.jar NOME_DA_CLASS_MAIN.java
3 $ java NOME_DA_CLASS_MAIN -classpath opencv-2410.jar

```

REFERÊNCIAS

- AMANATIADIS, A. et al. Development of a stereo vision system for remotely operated robots: A control and video streaming architecture. In: IEEE. **Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurement Systems, 2008. VECIMS 2008. IEEE Conference on.** [S.l.], 2008. p. 14–19.
- ANDRADE, L. A. de; CODEBELLO, P. D.; GOULARTE, R. Relatório Técnico, **Construção de uma Base de Vídeos Digitais Estereoscópicos.** 2010.
- AZEVEDO, E.; CONCI, A. **Computação gráfica: teoria e prática.** CAMPUS - RJ, 2003. ISBN 9788535212525. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=Y1mhBAAACAAJ>>.
- BAKER, M. et al. Improved interfaces for human-robot interaction in urban search and rescue. In: IEEE. **Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on.** [S.l.], 2004. v. 3, p. 2960–2965 vol.3. ISSN 1062-922X.
- BASTOS, B. da C.; FILHO, L. E. Utilização da tecnologia em projetos de engenharia de infraestrutura viária. **XI CONGRESSO NACIONAL Y VIII LATINOAMERICANO DE AGRIMENSURA,** 2012.
- BOSCH. **Automatic 3D Reconstruction and Modeling.** 2010. Disponível em: <http://www.ros.org/workshops/iros/2010/pitzer_presentation.pdf>.
- BROWNBIDGE, J. Project Report, **Teleoperation of Rescue Robots in Urban Search and Rescue Tasks: An investigation of Factors which effect Operator Performance and Accuracy.** 2008.
- FERREIRA, G. T. **Sistema de Mapeamento Tridimensional de Ambientes.** Trabalho de Conclusão de Curso, 2014.
- GUARDEZI, J. F. **Integração de ambientes virtuais com dispositivos robóticos controlados usando tecnologia arduino e unity3d.** Trabalho de Diplomação, 2012.
- GULATI, H.; VAISHYA, S.; VEERAMACHANENI, S. Bluetooth and wi-fi controlled rescue robots. In: IEEE. **India Conference (INDICON), 2011 Annual IEEE.** [S.l.].
- HATA, A. Y. **Mapeamento de Ambientes Externos Utilizando Robôs Móveis.** Dissertação de Mestrado, 2010.
- MARTINS, H.; VENTURA, R. Immersive 3-d teleoperation of a search and rescue robot using a head-mounted display. In: IEEE. **Emerging Technologies Factory Automation, 2009. ETFA 2009. IEEE Conference on.** [S.l.], 2009. p. 1–8. ISSN 1946-0759.
- MARTINS, J. A. S. **MRSLAM - Multi-Robot Simultaneous Localization and Mapping:.** [S.l.]: University of Coimbra, 2013. (Master of Science Dissertation).

- MERIGO, C. **Realidade Aumentada reinventa mercado de cards esportivos**. 2015. Disponível em: <<http://www.b9.com.br/4913/diversos/realidade-aumentada-reinventamercado-de-cards-esportivos/>>.
- MICROSOFT. **Kinect Fusion**. 2016. Disponível em: <<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dn188670.aspx>>.
- MILANO, D. de; HONORATO, L. B. Visão computacional. In: . [s.n.], 2010. Disponível em: <[http://www.ft.unicamp.br/liag/monografias/monografias/2010_IA_FT_UNICAMP_visaoComp\right\)utacional.pdf](http://www.ft.unicamp.br/liag/monografias/monografias/2010_IA_FT_UNICAMP_visaoComp\right)utacional.pdf)>.
- MILLWARD, D. **Mars Rover forced to operate in 'safe' mode**. 2013. Disponível em: <<http://www.telegraph.co.uk/news/science/space/9598543/Mars-Rover-forced-to-operate-in-safe-mode.html>>.
- NORTON, R. L. **Cinemática e dinâmica dos mecanismos**. [S.l.]: McGraw Hill Brasil, 2010. ISBN 9788580550122.
- OPENCV. **About OpenCV**. 2016. Disponível em: <<http://opencv.org/>>.
- PAJANKAR, A. **Raspberry Pi Computer Vision Programming**. [S.l.]: Packt Publishing, 2015.
- PI, B. **What is banana pi**. 2015. Disponível em: <<http://www.bananapi.org/p/product.html>>.
- PI, R. **What is a raspberry pi**. 2015. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/>>.
- READ, P.; MEYER, M.-P. **Restoration of Motion Picture Film**. [S.l.]: Elsevier, 2000. 359 p.
- RIISGAARD, S.; BLAS, M. R. **SLAM for Dummies (A Tutorial Approach to Simultaneous Localization and Mapping)**. [S.l.]: MIT, 2005.
- SAÇASHIMA, R. E. **A Realidade Aumentada: desafios técnicos e algumas aplicações em jogos e nas artes visuais**. Dissertação de Pós-Graduação, 2011.
- SANTOS, D. R. dos; KHOSHELHAM, K. Mapeamento 3d de ambientes internos usando dados rgb-d. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, p. 442 – 464, 09 2015.
- SISCOOTTO, R. A. et al. Estereoscopia. In: PRÉ SIMPÓSIO SVR 2004. **Conceitos e Tendências**. [S.l.].
- SOLÀ, J. **Simultaneous localization and mapping with the extended Kalman filter**. 2012. Disponível em: <<http://www.joansola.eu/JoanSola/eng/JoanSola.html>>.
- STEPTOE, W. **AR-RIFT: Camera Selection**. 2014. Disponível em: <<http://willsteptoe.com/post/67399683294/ar-rift-camera-selection-part-2>>.
- SURVEY, U. G. **Light Detection and Ranging (LIDAR)**. 2016. Disponível em: <https://lta.cr.usgs.gov/lidar_digitalelevation>.
- TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Belém: VIII Sysposium on Virtual Reality, 2006. ISBN 85-7669-068-3.
- WHELAN, T. et al. Relatório Técnico, **Kintinuuous: Spatially extended kinectfusion**. 2012.