

CENTRO PAULA SOUZA

GOVERNO DO ESTADO DE
SÃO PAULO

**Faculdade de Tecnologia de Americana
Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de
Sistemas**

NAVEGAÇÃO EM ROBÔS MÓVEIS USANDO VISÃO COMPUTACIONAL

LUIZ LINO BERTANHA DE ABREU

**Americana, SP
2013**

CENTRO PAULA SOUZA

GOVERNO DO ESTADO DE
SÃO PAULO

**Faculdade de Tecnologia de Americana
Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de
Sistemas**

NAVEGAÇÃO EM ROBÔS MÓVEIS USANDO VISÃO COMPUTACIONAL

LUIZ LINO BERTANHA DE ABREU
lino.bertanha.br@gmail.com

Trabalho Monográfico, desenvolvido em cumprimento à exigência curricular do Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas da Fatec-Americana, sob orientação do Prof. Me. Kléber de Oliveira Andrade.

Área: visão computacional, robótica móvel, navegação autônoma.

Americana, SP
2013

Luiz Lino Bertanha de Abreu

NAVEGAÇÃO EM ROBÔS MÓVEIS USANDO VISÃO COMPUTACIONAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Tecnologia de Americana como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de sistemas, sob orientação do Prof. Me. Kléber de Oliveira Andrade.

Americana, 04 de Dezembro de 2013.

Banca Examinadora:

Kléber de Oliveira Andrade (Presidente)
Mestre
Faculdade de Tecnologia de Americana.

Clerivaldo José Roccia (Membro)
Mestre
Faculdade de Tecnologia de Americana.

Alexando Mello Ferreira (Membro)
Doutor
Faculdade de Tecnologia de Americana.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família pelo enorme apoio prestado no desenvolvimento deste trabalho, sem eles nada seria possível.

Agradeço ao meu orientador Kléber de Oliveira Andrade pela dedicação e inspiração viabilizando a realização deste trabalho.

Ao meu orientador de iniciação científica Cleberson Eugenio Forte pelo seus esforços em proporcionar aprendizado aos seus alunos.

A todos os meus amigos que me acompanharam nessa grande jornada.

“Impossível é uma palavra encontrada somente no dicionário dos tolos.” (Napoleão Bonaparte).

RESUMO

As áreas de Robótica Móvel e Visão Computacional se encontram em uma fase de grande expansão, dentre tais a integração das duas áreas revelam uma iniciativa bastante promissora. O potencial de crescimento de atividades relacionadas à Robótica Móvel e Visão Computacional num futuro próximo é muito grande, a automatização de processos industriais é cada vez mais intensa, e ao longo dos próximos anos, os robôs não serão apenas máquinas dependentes do ser humano em exercer suas tarefas, eles estarão presentes no nosso cotidiano, executando tarefas complexas de maneira autônoma. A fim de compreender suas origens e estruturas, este trabalho tem como objetivo estudar determinados conceitos de Visão Computacional e Robótica Móvel para que dessa forma, as mesmas sirvam de base para o desenvolvimento de um protótipo robótico móvel autônomo. Para o desenvolvimento do trabalho, realizou-se uma pesquisa bibliográfica que envolveu os temas: Robótica Móvel e Visão Computacional. A partir dos dados levantados, fez-se uma análise sobre os processos envolvidos para fazer a integração das duas. Os resultados são analisados, e possíveis trabalhos futuros são discutidos.

Palavras Chave: visão computacional; robótica móvel; locomoção autônoma.

ABSTRACT

The areas of Mobile Robotics and Computer Vision are found in a phase of great expansion, among such integration of the two areas reveal an very promising initiative. The growth potential of activities related to Mobile Robotics and Computer Vision in the near future is very large, the automation of industrial processes is increasingly intense, and along the coming years, robots will not just be dependent machines in exercising human their tasks, they will be present in our everyday, performing complex tasks autonomously. In order to understand its origins and structures, this work aims to study concepts of Computer Vision and Mobile Robotics for that way, they serve as a basis for development of a prototype robotic autonomous mobile. For development work, we carried out a bibliographic search that involved themes: Mobile Robotics and Computer Vision. From the data collected, it was an analysis of the processes involved to integrate the two. The results are analyzed, and possible future work are discussed.

Keywords: *computer vision; mobile robotic; autonomous locomotion.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Elementos de um sistema de processamento de imagens.	15
Figura 2: Exemplo pareamento entre imagens.....	16
Figura 3: Ciclo de percepção e ação do robô móvel.	17
Figura 4: Plataforma robótica móvel equipada para uso.	22
Figura 5: Esquemático robô móvel.....	24
Figura 6: Algoritmo Sistema de Reconhecimento.	25
Figura 7: Cinemática.	26
Figura 8: Cinemática do eixo.....	27
Figura 9: Sistema de comunicação.	29
Figura 10: Simulador Virtual.....	34

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. OBJETIVO.....	12
1.2. JUSTIFICATIVA.....	12
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
2. VISÃO COMPUTACIONAL E PROCESSAMENTO DE IMAGENS	14
2.1. PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE IMAGENS DIGITAIS	14
2.2. MÉTODOS DETECTORES-DESCRITORES.....	15
3. ROBÓTICA MÓVEL.....	17
3.1. NAVEGAÇÃO.....	18
3.2. SENSORES	19
3.3. ATUADORES.....	20
4. PROJETO.....	21
4.1. MATERIAIS	21
4.1.1. OPENCV	22
4.1.2. ARDUINO.....	23
4.1.3. ROBÔ.....	24
4.1.4. ALGORITMO DE RECONHECIMENTO	24
4.1.5. SISTEMA DE CONTROLE.....	25
4.1.6. SISTEMA DE COMUNICAÇÃO	28
4.2. EXPERIMENTOS E RESULTADOS	29
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS.....	31
6. REFERÊNCIAS	32
APÊNDICE A - SIMULADOR	34

1. INTRODUÇÃO

Graças ao grande auxílio e evolução que a robótica tem proporcionado para a humanidade sua popularização cresceu de forma estrondosa e acelerada. No entanto, apesar do grande uso hoje em dia, a robótica é uma tecnologia relativamente recente. A definição de o que constitui um robô possui diferentes versões, segundo Engelberger (1966), considerado o pai da robótica por construir e vender o primeiro robô industrial mencionou o seguinte: *“I can’t define a robot, but I know one when I see one.” (Eu não posso definir um robô, mas eu reconheço um quando vejo.)*.

Com isso é possível emergir a robótica tida como a “ciência dos sistemas que interagem com o mundo real, com pouco ou mesmo nenhuma intervenção humana” (MARTINS, 2006, p. 8). Dessa forma pode chegar à conclusão que a definição de autonomia é uma das características de um robô.

Visto que a automaticidade é um fator importante na robótica, torna-se interessante emergir a Visão Computacional como uma ferramenta aliada a robótica:

“[...] a visão computacional procura integrar as áreas de processamento digital de imagens e inteligência artificial, tendo como objetivo a obtenção de algoritmos capazes de interpretar o conteúdo visual de imagens. Suas aplicações estão presentes em diversos segmentos tecnológicos que envolvem análise de imagens, reconhecimento de padrões e controle inteligente, abrangendo múltiplas áreas do conhecimento, tais como agronomia, astronomia, biologia, medicina e muitas outras. Constitui, portanto uma área multidisciplinar com muitas aplicações pratica” (NEVES, VIEIRA NETO, GONZAGA, 2012, p. 2).

Diante desse panorama, torna-se relevante refletir como o problema das tarefas realizadas por robôs totalmente dependentes do ser humano estaria passando por um processo de transformação, na qual a integração da Robótica Móvel e Visão Computacional poderia proporcionar a autonomia de veículos, apontando dessa forma para a seguinte pergunta: como a robótica móvel e a visão computacional podem auxiliar nas estratégias aplicadas a condução de veículos autônomos?

A primeira hipótese levada em consideração é a de que o desempenho de um Robô Móvel pode-se torna mais solido e flexível se for aliado aos algoritmos de

Visão Computacional tornando-se uma interessante forma de inteligência artificial. A segunda hipótese que se deve levar em consideração é de que ao empregar algoritmos de Visão Computacional a Robótica Móvel para condução de veículos autônomos, haverá um eficiente aumento da produtividade, melhoria da qualidade e diminuição da exposição humana. Já a terceira hipótese leva em consideração que a partir da integração da Visão Computacional permitirá o Robô Móvel cooperar com o ambiente em sua volta, independente se este ambiente é terra, água, cavernas ou no espaço.

1.1. OBJETIVO

Neste sentido, o objetivo geral desse projeto é desenvolver um robô móvel autônomo capaz de extrair as características do marcador natural presente na pista. Após a detecção do marcador natural, o robô móvel executará uma ação previamente definida. Expondo dessa forma, uma interessante forma de locomoção autônoma utilizando a Visão Computacional integrada com Robótica Móvel servindo como auxílio para o desenvolvimento de diversas tarefas.

Diante disto, podemos expor as etapas do projeto a partir dos seguintes objetivos específicos: a) Construir uma plataforma robótica do tipo móvel sobre rodas; b) Desenvolver um sistema em OpenCV que permita extrair as características do marcador natural presente na pista, objetivando a locomoção de forma inteligente do robô móvel; c) Programar rotinas de detecção, tratamento e processamento em tempo real das informações captadas no ambiente pela webcam implementada no robô móvel; d) Deslocar-se até um alvo tendo em vista a orientação do mesmo baseado nos dados obtidos pelos marcadores na pista, e e) Promover a integração de conceitos de Visão Computacional à Robótica Móvel.

1.2. JUSTIFICATIVA

“Os veículos autônomos devem ser controlados por agentes autônomos inteligentes, de modo a dotar os veículos não apenas de um comportamento realista do ponto de vista da física, mas de um comportamento autônomo realista do ponto de vista da Inteligência Artificial (I.A).” (OSÓRIO et al., 2009, p. 11). Com o avanço acelerado da tecnologia a Robótica Móvel e Visão Computacional acabaram

adquirindo um papel imprescindível na sociedade. Sabendo dessa fundamental importância cabe aos pesquisadores envolvidos nesse processo desenvolverem métodos eficazes e sólidos para o auxílio a diversas tarefas, uma vez que aderindo a perspectiva de robôs ou máquinas que possam trabalhar autonomamente, com pouca ou nenhuma intervenção humana, é uma ideia atraente e extremamente útil.

A constante criação de novas tecnologias aliando a Robótica Móvel e Visão Computacional tem aberto um imenso leque de oportunidades para a utilização do mesmo, pois está profundamente inserida em muitas áreas da sociedade, em aplicações comerciais e industriais. O trabalho aqui desenvolvido trata mais especificamente da categoria de robôs moveis autônomos, através do desenvolvimento e análise de sistemas que recebem informações do meio em que o mesmo se locomove e a partir disto fornecer um comportamento inteligente e flexível.

Há vários fatores importantes que projetos desse gênero poderiam ajudar, em alguns exemplos pode expor aos que dizem respeito a problemas de segurança em indústrias, que necessitam de robôs para transporte e manuseio de materiais perigosos, também é necessário levar em consideração o risco de colocar pessoas em ambientes hostis e insalubres, trabalhos repetitivos, tediosos e cansativos, como efetuados em laboratórios e na agricultura, são fatores de incentivo ao uso de robôs moveis autônomos. A utilização de robôs traz três vantagens sobre as operações manuais: aumento da produtividade, melhoria da qualidade e diminuição da exposição humana.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi estruturado em cinco capítulos, sendo que o segundo destina-se a Visão Computacional e processamento de imagens no intuito de dar embasamento teórico para melhor compreensão do projeto. No terceiro capítulo são abordados conceitos de Robótica Móvel. O quarto capítulo é demonstra como a Visão Computacional é integrada a Robótica Móvel e então como o mesmo adapta-se para servir de ferramenta de apoio voltada para diversas áreas. Com base nas informações conseguidas a partir dos estudos realizados no capítulo anterior, o quinto capítulo se reserva as considerações finais e trabalhos futuros.

2. VISÃO COMPUTACIONAL E PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Segundo Forsyth e Ponce (2003), o processamento de imagens é o âmbito da computação que se refere a operações e manipulações com imagens. Com isso podemos fazer um processamento e transformação de dados existentes em imagens aplicados à computação de forma inteligente, de modo a extrair informações.

Como a proposta já mencionada anteriormente, o objetivo aqui envolvido visa também em testar um conjunto de imagens possível de ser encontrada em uma aplicação prática no robô móvel. Para estes fins, foi escolhido método de extração e descrição de pontos de referência. Buscou-se avaliar se o método é robusto o suficiente em relação à possível aplicação que rodará no robô móvel.

De acordo com a documentação online do OpenCV (2013), existem métodos para extração de pontos de referência de imagens, esses métodos surgiram com detectores de características distintas como bordas e cantos, e evoluiu para métodos bastante robustos que escolhem pontos de referência estáveis, ou seja, que possam ser identificados mesmo com alterações na cena em questão.

2.1. PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE IMAGENS DIGITAIS

O conhecimento da estrutura de imagens digitais contendo sua representação e padrões utilizados são importantes para o tratamento computacional das mesmas. A visão computacional tem grande potencial de aplicações em diversas áreas do conhecimento, de especial interesse para este trabalho na robótica móvel.

Segundo Marques e Hugo (1999), o processamento de imagens digitais envolve procedimentos normalmente expressos sob forma algorítmica. Os elementos de um sistema de processamento de imagens de uso genérico são mostrados na Figura 1.

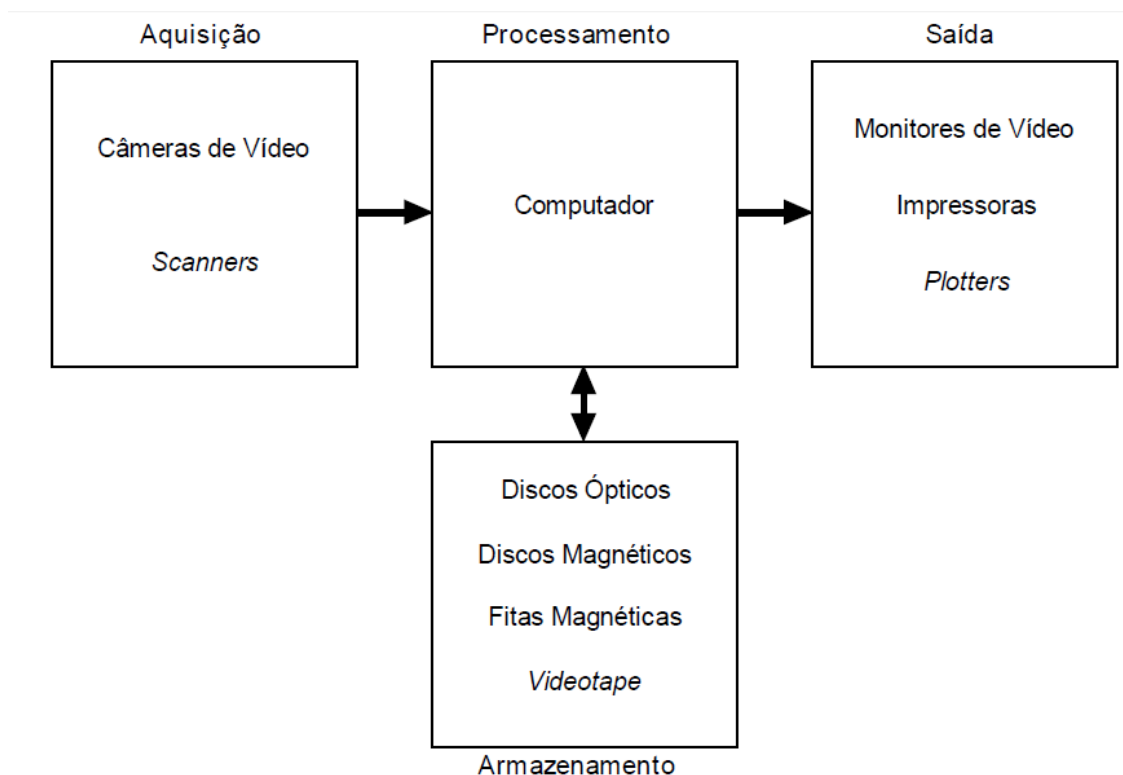


Figura 1: Elementos de um sistema de processamento de imagens.
 Fonte: MARQUES e HUGO (1999, p. 2).

De acordo com Marques e Hugo (1999), o diagrama da Figura 1 permite representar desde sistemas de baixo custo até sofisticadas estações de trabalho utilizadas em aplicações que envolvem intenso uso de imagens. Ele abrange as principais operações que se pode efetuar sobre uma imagem, a saber: aquisição, armazenamento, processamento e exibição. Além disso, uma imagem pode ser transmitida à distancia utilizando meios de comunicação disponíveis.

2.2. MÉTODOS DETECTORES-DESCRITORES

Segundo Laganière (2011), métodos chamados detectores-descritores tem sido amplamente usado para resolver muitos problemas de reconhecimento de objetos, registro de imagens, rastreamento visual, reconstrução 3D e muitas outras tarefas. Esses métodos baseia-se na ideia de que em vez de olhar na imagem como um todo, pode ser vantajoso selecionar alguns pontos especiais na imagem e executar uma análise local sobre estes, ou seja esses métodos podem ser usados para realizar esta associação de imagens através de características visuais distintas.

Visto que o pareamento destes pontos de referencia entre imagens (ou frames) permite que o robô identifique objetos ou cenários previamente conhecidos no ambiente, mesmo com mudanças de perspectiva, iluminação, rotação e diversas outras perturbações.

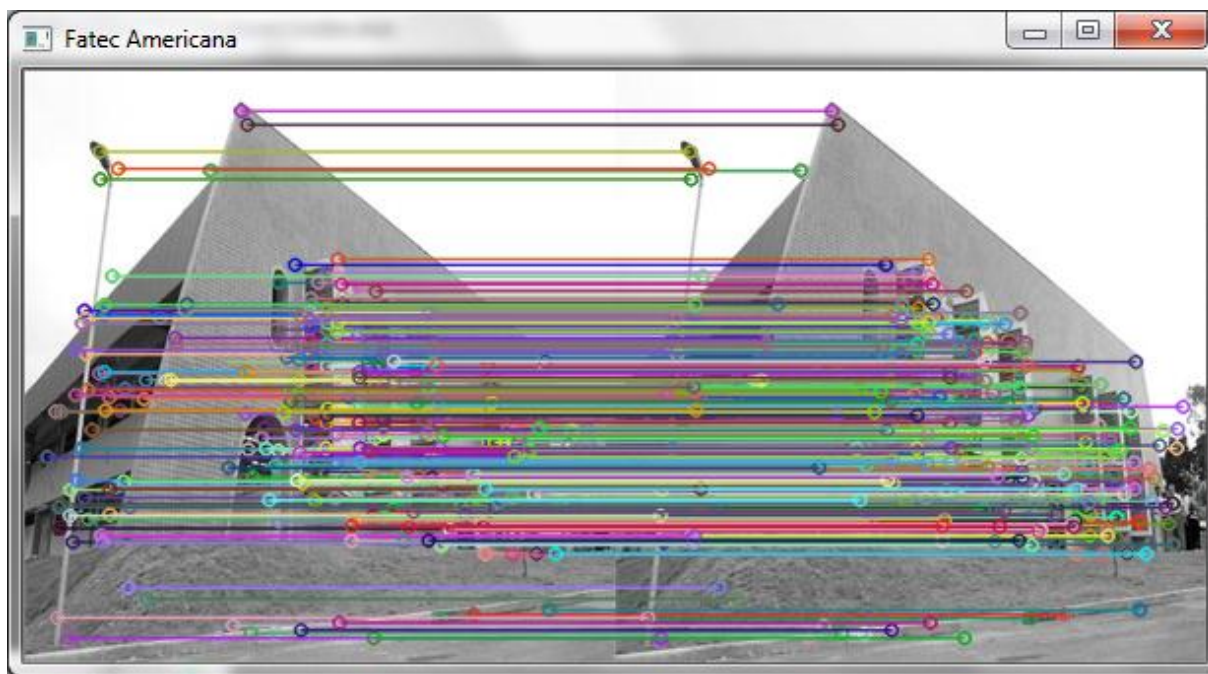


Figura 2: Exemplo pareamento entre imagens.
Fonte: Elaborada pelo autor.

Esta abordagem funciona bem, desde que um número suficiente de tais pontos seja detectado nas imagens de interesse. Um grupo de detectores de pontos de referencia que oferecem bons resultados de detecção e recuperação de pontos de referencia são os detectores-descritores de características baseados em espaço de escala.

3. ROBÓTICA MÓVEL

“Os veículos autônomos devem ser controlados por agentes autônomos inteligentes, de modo a dotar os veículos não apenas de um comportamento realista do ponto de vista da física, mas de um comportamento autônomo realista do ponto de vista da Inteligência Artificial (I.A).” (OSÓRIO et al., 2009, p. 11). Com isso podemos refletir de que um robô realmente autônomo deve levar em conta sua capacidade de percepção do ambiente e de seu próprio estado para tomar decisões sobre suas ações.

Segundo Bekey (2005), a interação de um robô com o ambiente é realizada por meio de ciclos de percepção-ação, que consistem de três passos:

- Obtenção de informação através de sensores;
- Processamento das informações para seleção da ação;
- Execução da ação através do acionamento dos atuadores.



Figura 3: Ciclo de percepção e ação do robô móvel.
Fonte: Elaborada pelo autor.

Isso irá resultar em um ciclo que envolve a percepção do ambiente, tomada de decisão através de um sistema de controle inteligente, realização de ação e finalmente a percepção da nova configuração do ambiente após a ação (Figura 3). Essa elaboração administra toda a interação entre o agente e o ambiente que o cerca, para qualquer que seja a função desempenhada. Pode-se notar dessa forma a importância dos sensores e atuadores, e também do algoritmo de navegação presente no robô móvel.

3.1. NAVEGAÇÃO

“As informações sobre posição e orientação determinadas no módulo de navegação são fundamentais para o módulo de guiagem, pois permitem a determinação do erro em relação às referências desejadas. Tipicamente essa referência são especificadas via *waypoints*, que são pontos com posição e orientação desejadas para o veículo, havendo uma grande variedade de técnicas de controle para efetuar a guiagem.” (SANDI LORA, HEMERLY e LAGES, 1998, p. 107).

De acordo com Siegwart e Nourbakhsh (2004), a navegação é uma das tarefas mais difíceis exigidas de um robô móvel. Sucesso na navegação requer sucesso nos quatro blocos de construção de navegação: percepção, o robô deve interpretar seus sensores para extrair dados significativos; localização, o robô deve determinar a sua posição no meio ambiente; a cognição, o robô deve decidir como agir para atingir seus objetivos; controle de movimento, o robô deve modular suas saídas do motor para alcançar a trajetória desejada.

Baseado nisso, torna-se interessante refletir que muitas tarefas mais elaboradas requerem algum mecanismo que ofereça informações ao robô móvel sobre o ambiente para que dessa forma seja possível conhecer sua posição relativa. Com isso, para o robô móvel ir da origem para destino é necessário que o robô saiba onde está e onde é seu objetivo. No caso de um robô móvel deslocando-se da origem para o destino, a ação é o deslocamento do robô, a navegação no ambiente. A atuação de um robô no ambiente influenciará seu estado e as leituras posteriores

de seus sensores. Existem diversos métodos e técnicas de controle de um robô móvel para navegação.

A navegação pode ser definida como a escolha e o percurso de um caminho adequado entre a posição atual de um robô e seu alvo (Choset et al., 2005). Tarefas robóticas dinâmicas, que exijam um grau de autonomia elevado, assim como tomada de decisão e tolerância a falhas, comumente requerem que o robô seja capaz de manter-se localizado no ambiente. O algoritmo de navegação é altamente dependente do objetivo do robô e da calibragem de diversos parâmetros de controle, e muitas vezes é projetado atrás de heurísticas, adaptando-se do melhor modo a uma tarefa específica.

3.2. SENSORES

Segundo Borges e Dores (2010), os sensores quando agem de maneira direta, alterando uma forma de energia em outra são chamados de transdutores. Os sensores onde as operações agem de maneira indireta modificam suas propriedades, como a capacitância, resistência ou indutância, sob a atuação da medida de forma que essa alteração ocorre mais ou menos proporcional. Há vários tipos de sensores, dentre os tais, podemos citar sensores laser, sistema de GPS, sonar, infravermelho, sensores inerciais (giroscópios e acelerômetros), sensor de iluminação, câmeras de vídeos dentre outros, com isso podemos catalogar os sensores como sendo a resposta, ou retorno, que o robô recebe do ambiente.

O sensor mais adequado depende do objetivo do robô, ou da tarefa que se deseja realizar. É considerável destacar que sensores não são dispositivos perfeitos e possuem erros associados às medições, que fazem com que os dados observados nem sempre correspondam exatamente ao valor real. Talvez possam ocorrer desvios de medida motivados devido à resolução máxima limitada do sensor ou no processo de digitalização do valor observado ou até imperfeições na detecção.

3.3. ATUADORES

Os atuadores, por sua vez, são as ferramentas através dos quais o robô realiza ações sobre o ambiente e altera seu próprio estado, segundo Brugnari e Maestrelli (2010) dizem que atuadores:

[...] atendem a comandos que podem ser manuais ou automáticos, ou seja, qualquer elemento que realize um comando recebido de outro dispositivo, com base em uma entrada ou critério a ser seguido [...].

Em robôs móveis terrestres, os atuadores frequentemente usados são os motores e rodas, embora existam muitos robôs que se movimentem com esteiras, pernas mecânicas, turbinas, dentre outros.

A compreensão dos atuadores do robô é importante para projetar um sistema que considere as limitações e possibilidades do robô, já que atuadores também podem apresentar imprecisões.

4. PROJETO

De acordo com Bekey (2005), um robô pode ser considerado como uma máquina equipada com sensores, com habilidade de processamento que emula alguns aspectos cognitivos e com atuadores. Após toda a análise do trabalho aqui desenvolvido, é possível perceber que a visão computacional é uma ciência que muito pode beneficiar a robótica móvel. Visto que o grande potencial da informação visual faz com que sua aplicação na robótica móvel seja um campo convidativo a ser explorado de forma mais detalhada.

4.1. MATERIAIS

Os testes práticos do projeto foram realizados sobre a plataforma robótica móvel. Visando a utilização de recursos de fonte aberta, o microcontrolador escolhido para ser acoplado ao robô móvel foi o Arduino Uno R3, “como os projetos são de fonte aberta, qualquer placa-clone é 100% compatível com o Arduino e, dessa forma, qualquer software, hardware, shield, etc. também será 100% compatível com o Arduino genuíno” (MCROBERTS, 2011, p. 24). Para controlar os drivers dos motores foi utilizado um chip L298N. A câmera de vídeo possui 1.3 Megapixels, e foi acoplada sobre o robô e permaneceu fixa com direção ao solo, à câmera de vídeo nessa posição foi suficiente para identificar os marcadores naturais do ambiente em sua volta. Diversas câmeras de vídeo foram testadas durante o projeto, sendo que a câmera usada nos testes e resultados apresentados neste trabalho foi uma câmera com conexão USB, capturando 30 quadros por segundo, modelo A4 Tech PK-635M.

A comunicação entre o robô móvel e o PC se dá através da RF (Rádio Frequência), utilizando módulos XBee que fazem comunicação no padrão ZigBee IEEE 802.15.4¹. O Protocolo ZigBee permite comunicações robustas e opera na frequência ISM (Industrial, Scientific and Medical), sendo aqui no Brasil 2,4 Ghz (16 canais) e em outras partes do mundo, e não requerem licença para funcionamento.

¹ <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>

A base do robô móvel, sem periféricos, apresenta medidas de 23,5 cm x 14,0 cm x 5,0 cm, o que o torna adequado para locomoção em ambientes internos (*indoor*), como salas e corredores. O robô móvel foi equipado com duas baterias de 9V, o que foi suficiente para os testes realizados.



Figura 4: Plataforma robótica móvel equipada para uso.
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.1. OPENCV

O processamento de imagens foi implementado em linguagem C++, usando como base a biblioteca de Visão Computacional OpenCV. Segundo Laganière (2011), a OpenCV (*Open Source Computer Vision*) é uma biblioteca de código aberto com mais de 500 algoritmos otimizados para imagem e análise de vídeo. Desde a sua introdução em 1999, tem sido amplamente adotado como principal ferramenta de desenvolvimento pela comunidade de pesquisadores e desenvolvedores em visão computacional. OpenCV foi originalmente desenvolvida pela Intel por uma equipe liderada por Gary Bradski como uma iniciativa para avançar a pesquisa em visão e promover o desenvolvimento de aplicações em visão.

A OpenCV é uma biblioteca abrangente e estabelecida, comumente utilizada em aplicações de Interação Homem-Máquina (IHC). Como tal, a biblioteca oferece implementações de diversas transformações, técnicas e operações sobre imagens, suporte de leitura e escrita para os principais formatos de vídeo e imagem, estruturas de dados auxiliares específicas para trabalho com imagens e funções de aprendizado de máquina, como suporte a redes neurais. A documentação² existente é extensa e abrangente, e a OpenCV pode ser usada em ambientes Linux ou Windows.

Nos estágios preliminares do trabalho, a OpenCV foi extensivamente usada para testes dos diversos detectores de características, mostrando-se ser uma interessante ferramenta para o desenvolvimento de algoritmos e a realização de experimentos e testes em visão computacional. Suas aplicações na área de visão computacional aplicada à robótica móvel tem sido extensas. Além disto, é uma ferramenta que se integra ao sistema embarcado de controle e navegação dos robôs móveis, tendo um desempenho bastante adequado para uma execução de algoritmos de controle e navegação em tempo de execução.

4.1.2. ARDUINO

Os testes práticos do robô móvel foi implementado utilizando o microcontrolador Arduino:

“[...] um Arduino é um microcontrolador de placa única e um conjunto de software para programá-lo. O hardware consiste em um projeto simples de hardware livre para o controlador, com um processador Atmel AVR e suporte embutido de entrada/saída. O software consiste de uma linguagem de programação padrão e do bootloader que roda na placa.” (MCROBERTS, 2011, p. 23).

“O Arduino pode ser utilizado para desenvolver objetos interativos independentes, ou pode ser conectado a um computador, a uma rede, ou até mesmo à Internet para recuperar e enviar dados do Arduino e atuar sobre eles” (MCROBERTS, 2011, p. 23). Diante disto, torna-se interessante emergir o Arduino como ferramenta fundamental para auxiliar nas técnicas do robô móvel.

² <http://www.opencv.org/>

4.1.3. ROBÔ

O esquemático do robô móvel está representado na Figura 5. Nesse esquemático é utilizada uma bateria de 9V dedicada aos quatro motores DC e ao Motor driver L298n, e outra bateria de 9V dedicada ao XBee Shield com o XBee Wireless acoplado ao Arduino UNO.

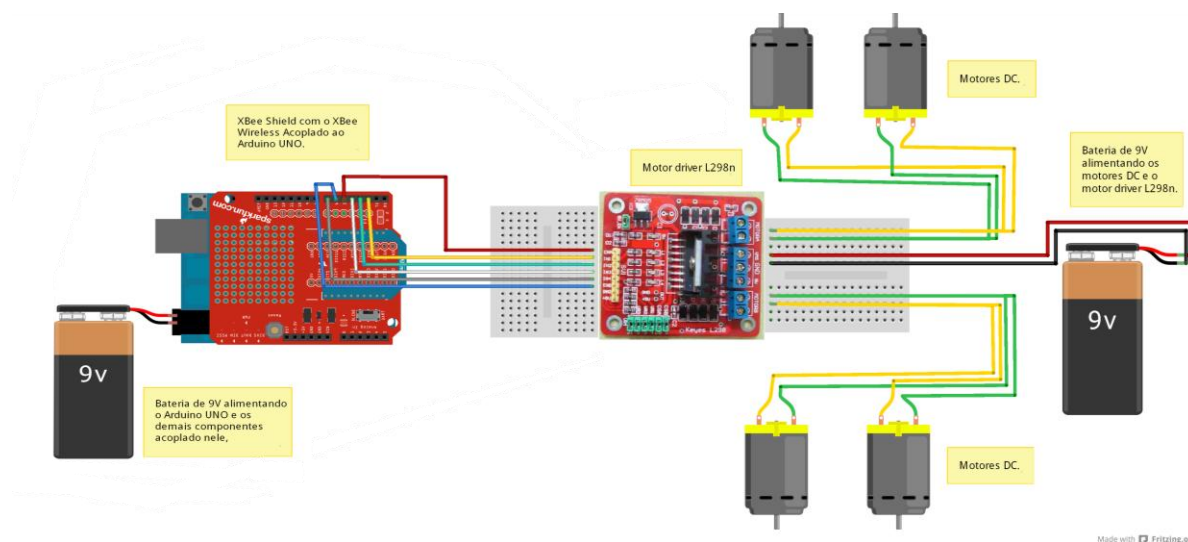


Figura 5: Esquemático robô móvel.
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.4. ALGORITMO DE RECONHECIMENTO

O algoritmo desenvolvido consiste em realizar um loop que fica ativo até que seja encontrado o marcador natural que representa o objetivo final do robô móvel. Dentro do loop deve ficar o planejamento para que a próxima ação do robô contribua para que fique mais perto de atingir o seu objetivo.

Na Figura 6 é exibido um fluxo para tomada de decisão, a fim de, determinar o estado do robô móvel. Dentro das tomadas de decisões, está a ação correspondente.

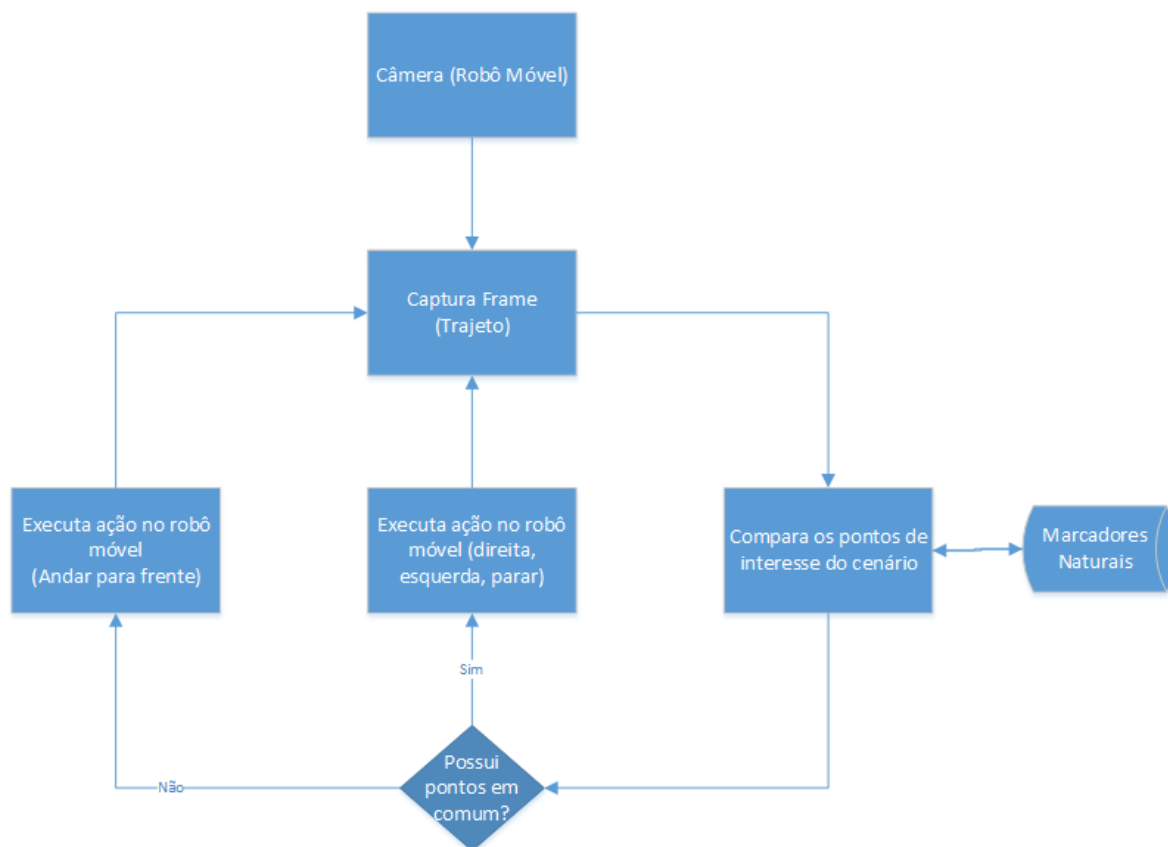


Figura 6: Algoritmo Sistema de Reconhecimento.
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.5. SISTEMA DE CONTROLE

De especial importância para a locomoção do robô móvel é o conhecimento do modelo cinemático do robô, que descreve sua trajetória e seus movimentos.

4.1.5.1. CINEMÁTICA DO ROBÔ

A geometria do robô móvel é apresentada na Figura 5, na qual, (x,y) é a posição do referencial fixo no robô em relação ao referencial fixo no espaço de trabalho e b é o comprimento do eixo, RGR é o raio de giro do robô móvel, $RRET$ e $RRDT$ são o raio da roda esquerda traseira e raio da roda direita traseira, $RRED$ e $RRDD$ são o raio da roda esquerda dianteira e o raio da roda direita dianteira, VAR é a velocidade angular do robô móvel, VAE é a velocidade angular da roda esquerda, VAD é a velocidade angular da roda direita, V é a velocidade linear do robô móvel (V

= $VAR \cdot RGR$), VD é a velocidade linear da borda da roda direita ($VD = VAD \cdot RRDD$), VE é a velocidade linear da borda da roda esquerda ($VE = VAE \cdot RRED$) e CIT é o centro instantâneo de rotação.

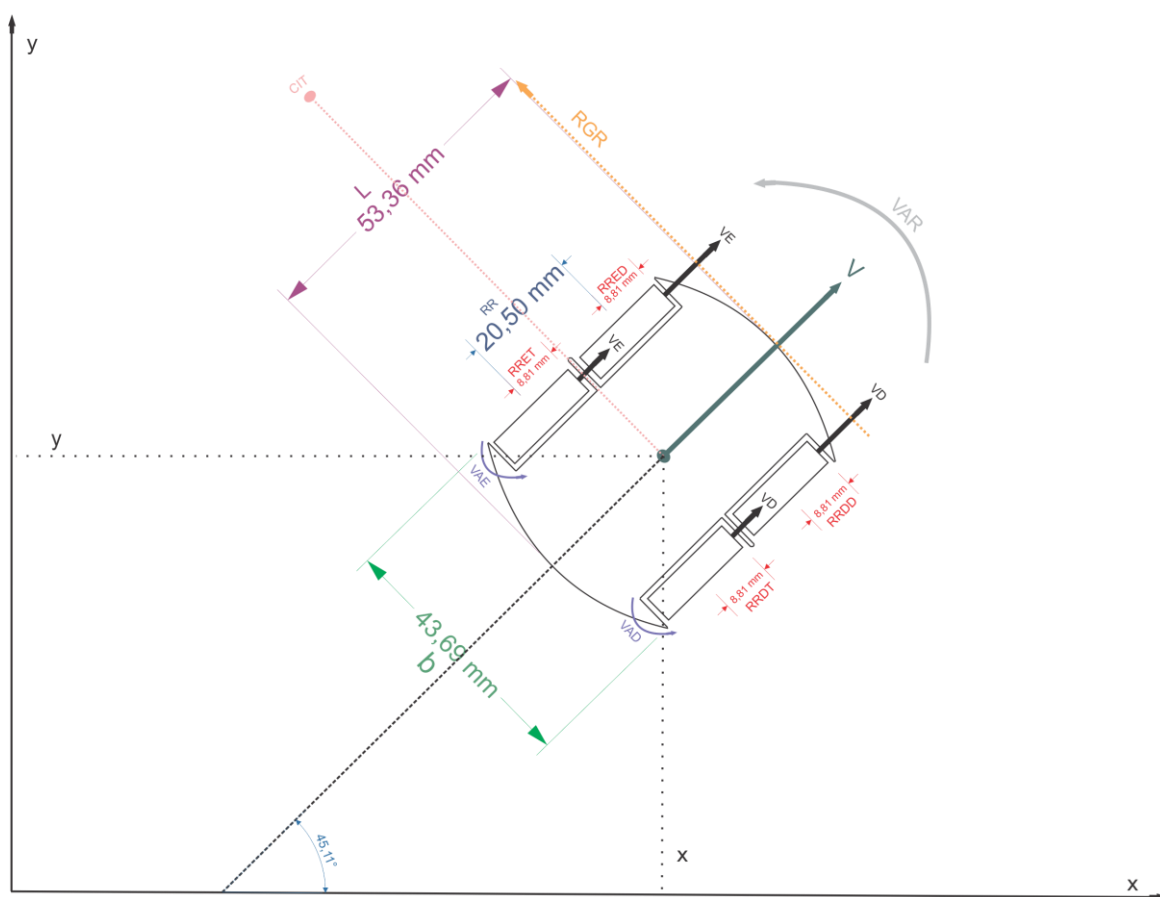


Figura 7: Cinemática.
Fonte: Elaborada pelo autor.

Visto que os eixos do robô móvel são idênticos, é possível simplificar a cinemática da seguinte forma:

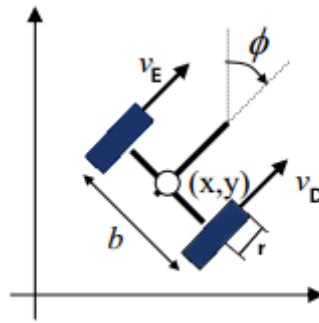


Figura 8: Cinemática do eixo.
Fonte: Elaborada pelo autor.

Assumindo as configurações do modelo da Figura 8, ω_E e ω_D são as velocidades angulares da roda direita e esquerda. E r é o raio da roda, tem-se que a velocidade linear e angular se dá através da seguinte equação:

$$V = \frac{V_E + V_D}{2} = \frac{\omega_E + \omega_D}{2} r \quad (1)$$

$$\omega = \frac{V_E - V_D}{b} = \frac{\omega_E - \omega_D}{b} r \quad (2)$$

onde b é o tamanho do eixo do robô móvel (separação central das duas rodas). Se as velocidades lineares e angulares são fornecidas através das equações (1) e (2), em seguida, as velocidades angulares de cada roda pode ser obtida através da seguinte equação:

$$\omega_E = \frac{v - \left(\frac{b}{2}\right)\omega}{r} \quad (3)$$

$$\omega_D = \frac{v + \left(\frac{b}{2}\right)\omega}{r} \quad (4)$$

Com isso, as velocidades absolutas de \dot{x} , \dot{y} e $\dot{\theta}$ no sistema de coordenadas são dadas por:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(r \sin \phi)/2 \\ (r \cos \phi)/2 \\ -r/b \end{bmatrix} \omega_E + \begin{bmatrix} -(r \sin \phi)/2 \\ (r \cos \phi)/2 \\ r/b \end{bmatrix} \omega_D \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(r \sin \phi)/2 & -(r \sin \phi)/2 \\ (r \cos \phi)/2 & (r \cos \phi)/2 \\ -r/b & r/b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_E \\ \omega_D \end{bmatrix} \quad (6)$$

4.1.6. SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

Para conhecer seu destino, é necessário que tenha comunicação e interação entre o robô móvel e o PC. Nesta abordagem, a comunicação pelo ambiente ocorre por meio da RF (Rádio Frequência) que fazem comunicação no padrão ZigBee IEEE 802.15.4. O *software* de controle é instalado no computador e o mesmo é posicionado dentro da distancia limite de comunicação do robô móvel, possuindo comunicação serial com o hardware do mesmo, a fim de enviar comandos para os motores. Os sensores presentes neste experimento são responsáveis pela obtenção dos marcadores naturais presente no trajeto, obtidos através de uma webcam acoplada diretamente no robô móvel.

O objetivo deste experimento foi validar, em termos práticos, um modelo de navegação por meio da RF (Rádio Frequência) utilizando marcadores naturais no trajeto como uma sequência de coordenadas. A seta entre o robô móvel e o PC representam a capacidade de comunicação da ordem de execução (Figura 9). Desta forma, o sistema de comunicação proposto possui duas fases principais: a primeira é o reconhecimento do marcador natural presente na pista usando técnicas de visão computacional; a segunda é a execução da ordem do software instalado no computador pelo robô móvel sobre o trajeto.

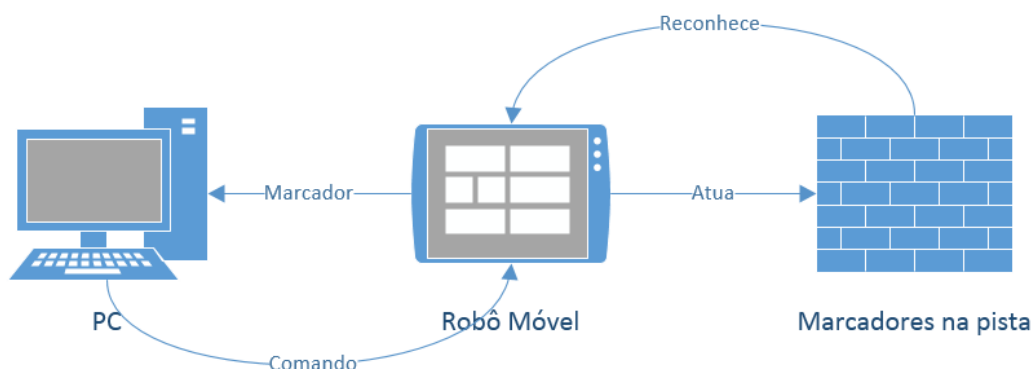


Figura 9: Sistema de comunicação.
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Como ponto inicial, a pesquisa sobre conceitos de Visão Computacional e Robótica Móvel para que dessa forma as mesmas sirvam de base para a locomoção autônoma foi o principal elemento motivador para o desenvolvimento desse projeto. Buscando o desenvolvimento de um sistema completo e que pudesse ter aplicação real, tornaram-se necessários o desenvolvimento e pesquisa em duas áreas necessárias para que o robô móvel tivesse atuação eficiente: detecção dos marcadores naturais e navegação.

Foi possível notar que a tarefa de navegação autônoma é um problema crucial nos estudos em robótica móvel, principalmente quando o robô móvel tem que operar em ambientes que se modificam dinamicamente, compostos de obstáculos estáticos e móveis. Visando soluções de alto grau de autonomia para a atuação do robô móvel, considerando ambientes dinâmicos, foi necessário propor aspectos que suportem altos graus de estabilidade, flexibilidade e tolerância a falhas, isso foi possível através do uso da Visão Computacional, foi possível utilizar tais conceitos sobre o ambiente, estimar uma posição, possuir a habilidade de reconhecer obstáculos e responder em tempo real as diferentes situações que possam ocorrer, todas essas funcionalidades devem operar em conjunto, formando dessa forma um

elo entre robótica móvel e visão computacional. Também foi possível perceber que normalmente sensores e atuadores são sujeitos a erros e interferências, assim o controle das ações de um robô deve sempre levar em conta a imprecisão dos sensores e atuadores imprecisos, para que o robô cumpra o seu objetivo.

Na pesquisa sobre comunicação e localização com o pc, o objetivo geral é a busca por um método que seja passível de ser usado em ambientes internos, que seja fácil, prático e barato de implementar. Baseado nisso, a tarefa de localização se inseriu no contexto da investigação do uso de redes sem fio (Wireless ZigBee IEEE 802.15.4) e identificação dos marcadores naturais para auxiliar na tarefa de navegação de robôs móveis em ambientes internos. A metodologia inicial, embora funcional, mostrou algumas limitações na questão de completa autonomia.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Pode-se vislumbrar o modo como a intersecção entre as áreas de visão computacional e a robótica móvel é ampla e diversa em aplicações e métodos. Entre as possíveis abordagens, o uso na robótica de câmeras monoculares simples é de especial nota por causa do baixo custo aliado à riqueza de informações oferecidas. Este trabalho apresentou um método de locomoção autônoma utilizando detecção de pontos de referencia, através de um método detector-descritor.

Robôs móveis têm sido aplicado para automatização de diversas tarefas, conferindo segurança e eficiência à realização das mesmas. Conforme a robótica se torna cada vez mais ubíqua na sociedade e seu papel torna-se cada vez mais determinante, as pesquisas na área crescem em importância e atualidade. Espera-se que o trabalho realizado contribua com objetivos de longo prazo das áreas nas quais está inserido, como a melhor compreensão e reaplicação da metodologia desenvolvida. Além disso, os próximos pesquisadores que realizarem investigação com os robôs móveis, ou com técnicas de visão computacional, podem se beneficiar desta metodologia de navegação desenvolvida.

Como trabalhos futuros pode-se destacar a auto-localização, visto que a rastreabilidade dos dados é uma necessidade cada vez mais frequente, dessa forma, um trabalho futuro é o desenvolvimento de padrões para auxiliar nas técnicas de auto-localização. Pode-se destacar também a utilização de sistemas embarcados, visto que o robô móvel poderia fazer o processamento dos dados recebidos, ficando menos dependente do computador para fazer o processamento. Foi possível notar que os motores DC não possuem muita precisão, como trabalho futuro propõe-se a substituição dos motores DC por motores de passo para ter uma maior precisão nos movimentos. Para finalizar, propõe-se como trabalho futuro estudo sobre autonomia da bateria, visto que a bateria é um dos fatores mais importantes para locomoção do robô móvel.

6. REFERÊNCIAS

ABREU, L.L.B.; FERREIRA, D.; BORTOLUCCI, J.; CARDOSO, M.; FERNANDES, G.; RIBANI, R.; FORTE, C.; **Recognition of Brazilian Currency Notes via Feature Point Extraction**. IX Workshop de Visão Computacional, 2013.

ABREU, L.L.B.; RIBANI, R.; FORTE, C.; MARENGONI, M., **Proposal of a Hybrid Algorithm Based on SURF and ORB**. IX Workshop de Visão Computacional, 2013.

ANDRADE, K. O. **Sistema Neural Reativo para o Estacionamento Paralelo com uma Única Manobra em Veículos de Passeio**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BEKEY, G. A. **Autonomous robots: From biological inspiration to implementation and control**. MIT press, 2005.

BORGES, L. P.; DORES, R. C., **Automação predial sem fio utilizando bacnet/zigbee com foco em economia de energia**. 2010, 76f. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação – UNB, Brasília, 2010.

BRADSKI, G.; KAEHLER, A. **Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library**. Cambridge, MA: O'Reilly Media, Inc.; 2008.

BRUGNARI, A.; MAESTRELLI, L. H. M., **Automação Residencial via WEB**. 2010, 36f. Trabalho de conclusão de curso – curso de Graduação em Engenharia de Computação – PUC-PR, Curitiba, 2010.

DUDEK, G.; JENKIN, M. **Computational principles of mobile robotics**. Cambridge University Press, 2000.

ERHARD, S.; WENZEL, K.; ZELL, A. **Flyphone: Visual Self-Localisation Using a Mobile Phone as Onboard Image Processor on a Quadcopter**. Disponível em: <http://u-173-c140.cs.uni-tuebingen.de/publikationen/2009/erhard2009_Flyphone.pdf>. Acessado em: 14/03/2013 às 14:17.

FORSYTH, D. A.; PONCE, J. **computer vision: A modern Approach**. Prentice Hall, 2003.

HAYKIN, S.; VAN VEEN, B.: **Signals and Systems, 2nd Edition**. John Wiley & Sons, 2002.

LAGANIÈRE, R. **OpenCV 2 Computer Vision Application Programming Cookbook**. Birmingham, Mumbai: Packt Publishing, 2011.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento Digital de Imagens**, Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

MARTINS, Agenor. **O que é Robótica**. São Paulo, Editora Brasiliense, 2006.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. São Paulo, SP: Novatec, Inc.; 2011.

MIRELES, J. **Kinematic Models of Mobile Robots**. Robótica: Manipuladores y Robots móviles, Aníbal Ollero, 2004.

NEVES, L. A.; VIEIRA NETO, H.; GONZAGA, A. **Avanços em Visão Computacional**. Curitiba, Editora Omnipax, 2012.

Open Source Computer Vision. Disponível em: <www.opencv.org.br> Acesso em: mar. 2013.

OSÓRIO, F.; WOLF, D.; SIMÕES, E.; CASTELO BRANCO, K. R.L.J. ; PESSIN, G. **Simulação Virtual de Carro em Jogos e Aplicações de I.A**. São Carlos, SP. Disponível em: <http://wwwusers.rdc.puc-rio.br/sbgames/09/_proceedings/dat/_pdfs/computing/tutorialComputing3.pdf> Acessado em: 21/03/2013 às 18:10.

PAULA FILHO, P. L.; SOARES, C. J.; TUSSET, A. M. **Utilização de um Sistema de Visão Computacional para o Controle de um Robô Móvel**. *DINCON'10, 9º Brazilian Conference on Dynamics Control and their Applications, 2012*. Disponível em: <<http://www.sbmac.org.br/dincon/trabalhos/PDF/image/68606.pdf>>. Acessado em: 01/03/2013 às 23:14.

SANDI LORA, F. A., HEMERLY, E. M. & LAGES, W. F. **Sistema para Navegação e Guiagem de Robôs Móveis Autônomos**, SBA Controle & Automação 9(3): 107-118, 1998.

SIEGWART, R.; NOURBAKHSI, I. **Introduction to Autonomous Mobile Robots**, Lodon, England, 2004.

SILVA, E. L. da e MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 3a edição. Universidade Federal de Santa Catarina. 2001. Disponível em: <http://cursos.unisanta.br/civil/arquivos/Pesquisa_Cientifica_metodologias.pdf>. Acessado em: 01/04/2013 às 09:14.

SZELISHI, R. **Computer Vision: Algorithms and Applications**. Disponível em: <http://szeliski.org/Book/drafts/SzeliskiBook_20100903_draft.pdf>. Acessado em: 20/04/2013 às 16:42.

ZHOU, C.; WEI, Y.; TAN, T. **Mobile robot self-localization based on global visual appearance features**. *In Proc. of IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation (ICRA)*, 2003.

APÊNDICE A - SIMULADOR

No desenvolvimento deste trabalho, foi possível perceber que a tarefa de navegação autônoma é um problema crucial na área da robótica móvel. Um dos objetivos deste trabalho era propor uma metodologia de navegação autônoma para robôs móveis, embora funcional, a metodologia acabou mostrando algumas limitações na questão de completa autonomia. Diante deste panorama, tornou-se necessário o desenvolvimento de um ambiente virtual (Figura 10) com o intuito de facilitar compreensão à metodologia de navegação proposta. Visto que, quando o ambiente em que o robô está envolvido é totalmente virtual, torna-se mais fácil resolver problemas fundamentais na área da robótica móvel, coisa que não é possível no mundo real. O simulador do robô móvel autônomo foi codificado na linguagem C++, utilizando o Code::Blocks³ como interface de programação e o GNU GCC como compilador.

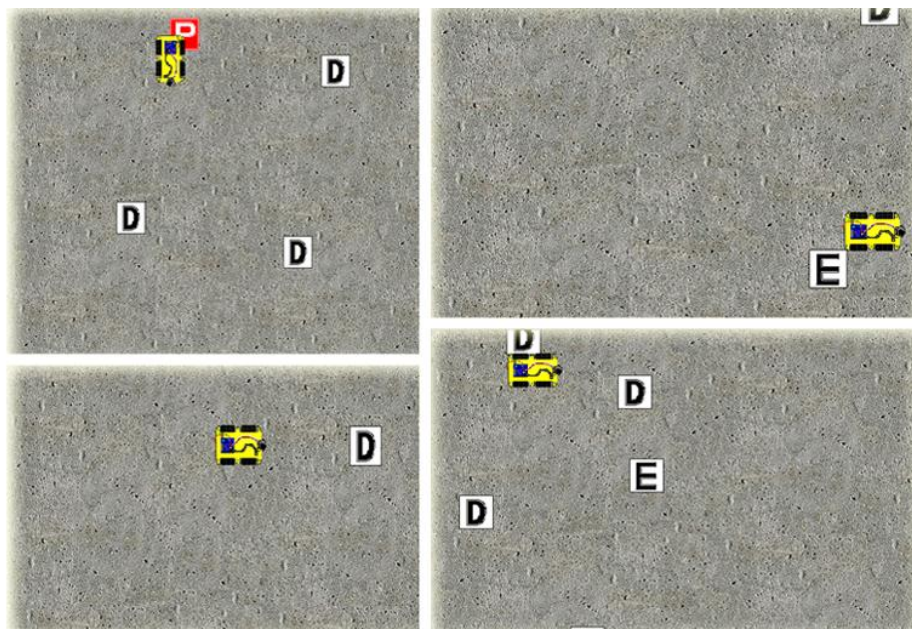


Figura 10: Simulador Virtual.
Fonte: Elaborada pelo autor.

³ <http://www.codeblocks.org/>