



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia de Software

Auto-Localização e Mapeamento de Ambientes: Uma Abordagem para Robôs Simples

Autor: Rafael Fazzolino P. Barbosa

Orientador: Dr. Maurício Serrano

Coorientadora: Dra. Milene Serrano

Brasília, DF

2016



Rafael Fazzolino P. Barbosa

Auto-Localização e Mapeamento de Ambientes: Uma Abordagem para Robôs Simples

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Software da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Software.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Dr. Maurício Serrano

Coorientador: Dra. Milene Serrano

Brasília, DF

2016

Rafael Fazzolino P. Barbosa

Auto-Localização e Mapeamento de Ambientes: Uma Abordagem para Robôs Simples/ Rafael Fazzolino P. Barbosa. – Brasília, DF, 2016-
71 p. : il. ; 30 cm.

Orientador: Dr. Maurício Serrano

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2016.

1. Robótica. 2. Auto-Localização. I. Dr. Maurício Serrano. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Auto-Localização e Mapeamento de Ambientes: Uma Abordagem para Robôs Simples

CDU 02:141:005.6

Rafael Fazzolino P. Barbosa

Auto-Localização e Mapeamento de Ambientes: Uma Abordagem para Robôs Simples

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Software da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Software.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 01 de junho de 2013:

Dr. Maurício Serrano

Maurício Serrano

Dra. Milene Serrano

Milene Serrano

Titulação e Nome do Professor

Convidado 01

Giovanni Almeida Santos

Titulação e Nome do Professor

Convidado 02

Carla Rocha

Brasília, DF

2016

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.*

Agradecimentos

A inclusão desta seção de agradecimentos é opcional, portanto, sua inclusão fica a critério do(s) autor(es), que caso deseje(em) fazê-lo deverá(ão) utilizar este espaço, seguindo a formatação de *espaço simples e fonte padrão do texto (arial ou times, tamanho 12 sem negritos, aspas ou itálico*.

Resumo

O resumo deve ressaltar o objetivo, o método, os resultados e as conclusões do documento. A ordem e a extensão destes itens dependem do tipo de resumo (informativo ou indicativo) e do tratamento que cada item recebe no documento original. O resumo deve ser precedido da referência do documento, com exceção do resumo inserido no próprio documento. (...) As palavras-chave devem figurar logo abaixo do resumo, antecidas da expressão Palavras-chave:, separadas entre si por ponto e finalizadas também por ponto. O texto pode conter no mínimo 150 e no máximo 500 palavras, é aconselhável que sejam utilizadas 200 palavras. E não se separa o texto do resumo em parágrafos.

Palavras-chaves: latex. abntex. editoração de texto.

Abstract

This is the english abstract.

Key-words: latex. abntex. text editoration.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Microprocessador central	37
Figura 2 – Sensor RGB - Lego	37
Figura 3 – Atuador - Lego	37
Figura 4 – Kit Mindsotm completo - Lego	38
Figura 5 – Funções básicas RoboMind	40
Figura 6 – Funções básicas Scratch	41
Figura 7 – Ambiente de desenvolvimento em Logo	42
Figura 8 – Processo Metodológico	50
Figura 9 – Processo de revisão sistemática. Processo adaptado de [Kitchenham et al. 2006]	53
Figura 10 – Processo geral de revisão sistemática, segundo [Kitchenham et al. 2006]	55
Figura 11 – Arquitetura de comunicação	63

Lista de tabelas

Tabela 2 – Cronograma TCC 1	49
Tabela 1 – Classificação da pesquisa	49
Tabela 3 – Processo de revisão sistemática	53
Tabela 4 – Resultados obtidos com a <i>string</i> inicial	58
Tabela 5 – Exemplo de registro de material	59
Tabela 6 – Comparação das <i>strings</i> inicial e final	62

Lista de abreviaturas e siglas

MIT	Massachusetts Institute of Technology
API	Application Program Interface
BPMN	Business Process Model and Notation
IDE	Integrated Development Environment
RAM	Random Access Memory
USB	Universal Serial Bus
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping

Lista de símbolos

Γ	Letra grega Gama
Λ	Lambda
ζ	Letra grega minúscula zeta
\in	Pertence

Sumário

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Contextualização	23
1.2	Problema de Pesquisa	25
1.3	Justificativa	25
1.4	Objetivos	26
1.4.1	Objetivo Geral	26
1.4.2	Objetivos Específicos	26
1.5	Organização do trabalho	27
2	REFERENCIAL TEÓRICO	29
2.1	Robótica e a Auto-Localização	29
2.2	O Problema de SLAM	31
2.2.1	Filtro de Kalman	32
2.2.2	Filtro de Partículas	32
2.3	Robótica Educacional	33
2.3.1	Lego Mindstorms NXT	36
2.4	Considerações parciais	38
3	SUPORTE TECNOLÓGICO	39
3.1	Engenharia de Software	39
3.1.1	GIT	39
3.1.2	Github	39
3.1.3	Bonita BPMN	39
3.1.4	Linux Mint	39
3.1.5	LaTeX	40
3.1.6	Sublime Text 3	40
3.2	Robótica educacional	40
3.2.1	RoboMind	40
3.2.2	Scratch	41
3.2.3	Linguagem Logo	41
3.2.4	Kodu Game Labs	42
3.2.5	Alice	43
3.2.6	Mindstorms Lego	43
3.3	Considerações parciais	43
4	PROPOSTA	45

4.1	Obtenção da base teórica	45
4.2	Adaptação e implementação	45
4.3	Considerações parciais	46
5	METODOLOGIA	47
5.1	Classificação da Pesquisa	47
5.1.1	Abordagem da pesquisa	47
5.1.2	Natureza da pesquisa	48
5.1.3	Objetivos da pesquisa	48
5.1.4	Procedimentos	48
5.2	Processo Metodológico	49
5.2.1	Revisão Sistemática	51
5.2.1.1	Processo de Revisão Sistemática	52
6	RESULTADOS PARCIAIS	55
6.1	Revisão Sistemática	55
6.1.1	Planejamento da Revisão	55
6.1.1.1	Objetivos e questão de pesquisa	55
6.1.1.2	Estratégias de pesquisa	56
6.1.1.3	Procedimento de seleção	58
6.1.1.4	Avaliação da Qualidade	58
6.1.1.5	Extração de dados	59
6.1.2	Condução da Revisão	59
6.1.3	Publicação dos Resultados	62
6.1.3.1	Arquitetura da solução	63
6.1.3.2	Técnica probabilística utilizada	64
6.1.3.3	Informações disponíveis	65
6.2	Desenvolvimento prático	65
6.3	Ações futuras	65
	Referências	67

1 Introdução

A robótica é um termo que gera bastante curiosidade para qualquer pessoa, desde uma criança aprendendo a ler, até idosos surpresos com as novidades. Por esse e outros motivos, a robótica vem sendo pesquisada e evoluída em diversos contextos, como a robótica educacional, por exemplo.

Entre as diversas áreas de pesquisa que se enquadram na robótica, uma delas merece atenção especial: a robótica móvel. A mobilidade robótica é um dos grandes desafios para a comunidade devido a complexidade e imprecisão dos dados obtidos, o que será apresentado durante este trabalho de conclusão de curso. As próximas seções deste capítulo buscam apresentar a contextualização da pesquisa, a questão de pesquisa a ser atacada, a justificativa para realização da mesma e os objetivos a serem alcançados.

1.1 Contextualização

O nascimento da robótica se deu no contexto industrial, no qual ferramentas autônomas foram desenvolvidas para executar atividades de forma repetitiva e incansável, maximizando a qualidade dos produtos e minimizando o custo e o tempo para produção dos mesmos [Romano 2002]. Segundo [Romano 2002], a palavra robô é derivada da palavra *robota*, de origem eslava, que significa *trabalho forçado*, ou seja, robôs podem ser considerados ferramentas incansáveis que apoiam o trabalho humano.

Segundo [Oliveira 2008], a autonomia de um robô é condicionada pela sua capacidade de perceber o ambiente de navegação, interagindo com o meio e realizando tarefas com o mínimo de precisão. Este mínimo, de acordo com [Oliveira 2008], seria a navegação sem colisão em obstáculos.

Para que robôs sejam capazes de navegar em um ambiente desconhecido sem que haja colisão em objetos e obstáculos, os mesmos necessitam de informações sobre este ambiente. Estas informações são adquiridas utilizando sensores. Como foi apresentado por [Costa e Okamoto Jr. 2002], no livro de Robótica Industrial, os sensores possuem o dever de fornecer informações ao sistema de controle do robô sobre distâncias de objetos, posição do robô, contato do robô com objetos, força exercida sobre objetos, cor e textura dos objetos, entre outras.

Além de obter dados sobre o ambiente, o robô precisa se auto-localizar para processar as informações obtidas e traçar rotas sem colisões até o ponto de destino. Para isso, foram desenvolvidas muitas formas de auto-localização, algumas delas são citadas por [Santos, Silva e Almeida 2002], como:

- **Utilização de Mapas:** O robô conhece o mapa onde realizará a navegação à priori, conhecendo os obstáculos e os caminhos possíveis. Possuindo essas informações, o robô irá traçar as rotas mais eficientes para chegar em seu objetivo.
- **Localização Relativa em Grupos:** Esta técnica utiliza a navegação simultânea de muitos robôs, cada robô sabe a posição relativa dos outros robôs, podendo calcular sua posição relativa.
- **Utilização de Pontos de Referência:** Conhecendo pontos de referência que estão distribuídos pelo mapa de navegação, o robô consegue calcular sua posição através da técnica de triangulação.
- **Localização Absoluta com GPS:** A partir desta técnica, é fácil obter a posição absoluta do robô em relação à terra. O grande problema desta técnica é a margem de erro presente no sistema de GPS, inviável para navegações internas.
- **Utilização de Bússolas:** É uma técnica interessante para reconhecimento da orientação do robô, o que facilita muito na navegação do mesmo. Entretanto, as Bússolas são muito frágeis a interferências externas, como por exemplo, a proximidade de materiais ferro-magnéticos ou as fugas magnéticas dos motores presentes no próprio robô.
- **Odometria:** Consiste na medição da distância relativa percorrida pelo robô, utilizando sensores presentes nas rodas do mesmo. Necessita do conhecimento do ponto de origem.

As formas apresentadas anteriormente, para se trabalhar com auto-localização, possuem características únicas que as adequam para diferentes contextos de navegação. Por exemplo, segundo [Santos, Silva e Almeida 2002], a Utilização de Mapas é uma técnica bastante útil quando se está trabalhando com um ambiente conhecido e estático, porém, em ambientes mutáveis e não conhecidos, essa estratégia se torna um problema. A Localização Relativa em Grupos é a técnica adequada quando a navegação envolve muitos robôs, a qual não necessita de conhecimento prévio do mapa. A Utilização de Pontos de Referência é uma técnica comumente utilizada, sendo útil quando não se conhece o ambiente de navegação. Entretanto, os pontos de referência, nesse caso, precisam ser conhecidos.

Quando se têm ambientes abertos e amplos, a técnica de Localização Absoluta com GPS é a mais utilizada. Entretanto, sua margem de erro torna a navegação em ambientes pequenos ou fechados inviável, como apresenta [Santos, Silva e Almeida 2002]. A Navegação com utilização de Bússolas garante um apoio muito útil para orientação do robô. Contudo, essa técnica gera problemas relacionados a interferências externas, como materiais eletromagnéticos próximos à bússola [Santos, Silva e Almeida 2002].

A técnica de Odometria é muito utilizada em navegações curtas, em ambientes com o piso regular e plano. Entretanto, segundo [Santos, Silva e Almeida 2002], esta técnica se caracteriza pela adição de erros a cada centímetro percorrido, por meio de derrapagens e falhas no giro das rodas.

Desse modo, é fácil perceber que cada técnica possui características que se adaptam melhor para diferentes situações. Ao longo deste trabalho, o principal foco de interesse é a navegabilidade de robôs simples e baratos, como os Kit Lego Mindstorms¹. Tais kits possuem poucas opções de sensores e características limitadas [Hámori, Lengyel e Reskó 2011]. Os sensores do kit que serão utilizados neste trabalho são: *Sensor de proximidade*, *sensor RGB*, *sensor de contato* e *sensor odométrico*.

1.2 Problema de Pesquisa

Todas as técnicas de auto-localização apresentadas na seção anterior já foram testadas, comparadas e refatoradas em diferentes contextos, desde a navegação marítima até questões relacionadas à tecnologia aeroespacial [Oliveira 2008]. Porém, sabe-se que, nestes contextos, o *hardware* utilizado para navegação era de alta tecnologia, possuindo processadores de alto desempenho, com a utilização de processamento paralelo [Paula et al. 2013], por exemplo, e sensores precisos.

Já em um contexto educacional, a infraestrutura disponível nem sempre engloba os critérios necessários para aplicação das técnicas de auto-localização. Um exemplo disso é a utilização, por [Oliveira 2008], de uma câmera omnidirecional para obter informações sobre o ambiente.

Desse modo, vê-se a necessidade da adaptação de técnicas de auto-localização para o contexto da Robótica Educacional, utilizando os kits de robótica *Mindstorms* da LEGO. Nesses kits, a capacidade de processamento e a precisão dos sensores e dos atuadores são limitadas. A intenção é tomar como base a técnica de mapeamento do ambiente e auto-localização simultâneos (conhecida como problema de SLAM - *Simultaneous Location and Mapping*) [Dissanayake et al. 2001].

A questão de pesquisa que será discutida durante este trabalho é "*Como tratar o problema de SLAM no contexto de robôs simples?*".

1.3 Justificativa

A utilização da Robótica como uma forma de ensinar programação em escolas e faculdades, conhecida como Robótica Educacional [Maliuk 2009], traz alguns benefícios

¹ mindstorms.lego.com

para o aluno. Conforme colocado pelos autores [Galvan et al. 2006], [Zhao et al. 2008], [Maliuk 2009] e [Wahab1, Azahari2 e Tajuddin1 2015], alguns desses benefícios são:

- maior interesse pelos conteúdos estudados em aula;
- capacidade de trabalhar em grupo;
- aplicação prática do conhecimento teórico, e
- multidisciplinaridade.

A Universidade de Brasília utiliza esta abordagem de ensino/aprendizagem durante a disciplina de Introdução à Robótica Educacional, ministrada em 2016, pelo professor Dr. Maurício Serrano. A disciplina utiliza os Kits de robótica Mindstorms, da Lego, para desenvolvimento de soluções dos problemas presentes em um tapete de missões. A organização da disciplina se inspira nos campeonatos de robótica, como o *ciber-rato* [Lau et al. 2002] ou *micro-rato* [Santos, Silva e Almeida 2002]. Neste tipo de campeonato, a navegação é o quesito mais importante [Lau et al. 2002], a qual deve possuir a menor margem de erro para solucionar as missões.

As missões utilizadas durante a disciplina da UnB são referentes a problemas recorrentes no contexto da robótica mundial. A solução dos problemas é uma adaptação das técnicas existentes para o contexto limitado da disciplina, onde são utilizadas apenas ferramentas presentes no kit *Mindstorms* da Lego. Esta adaptação exige um conhecimento específico sobre a técnica, para que o estudante possa identificar características relevantes e adaptá-las de acordo com o *hardware* disponível.

A disciplina já influenciou dois estudantes de Engenharia de Software a se aprofundarem no contexto da robótica e robótica educacional, gerando dois trabalhos de conclusão de curso, [Rincon 2015], que desenvolveu um *framework* de definição de trajetórias para robôs móveis, e [Ramalho 2015], que desenvolveu um algoritmo para tomada de decisões estratégicas em robótica educacional. O trabalho atual vem para complementar os trabalhos realizados pelos dois alunos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Adaptar técnicas de resolução do problema de SLAM para o contexto de robôs simples, utilizando os kits de robótica *Mindstorms* da Lego, em um primeiro momento.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar uma solução para o problema de SLAM em um contexto simplificado;

- Propor adaptação para o contexto de robôs simples, na robótica educacional;
- Implementar adaptação.

1.5 Organização do trabalho

Este trabalho de conclusão de curso está organizado nos capítulos:

- Introdução: Capítulo referente a contextualização, levantamento da questão de pesquisa, justificativa e definição dos objetivos do trabalho.
- Referencial teórico: O objetivo deste capítulo é, fornecer, ao leitor, o conhecimento necessário para compreender a pesquisa realizada. O capítulo é sub-dividido nas seções *robótica e a auto-localização*, *o problema de SLAM* e *robótica educacional*.
- Suporte tecnológico: Apresenta as ferramentas e tecnologias utilizadas para auxiliar o desenvolvimento desta pesquisa, desde a pesquisa bibliográfica e documentação, até o desenvolvimento da prova de conceito e apresentação.
- Metodologia: Este capítulo busca apresentar as técnicas utilizadas para a realização da pesquisa, definindo todo o *caminho* percorrido durante este processo.
- Resultados parciais: Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante o desenvolvimento da primeira etapa deste trabalho de conclusão de curso.

2 Referencial Teórico

Parte da teoria relacionada à robótica móvel e à robótica educacional será descrita, brevemente, durante este capítulo, visando facilitar o entendimento dos termos utilizados durante a realização desta pesquisa.

2.1 Robótica e a Auto-Localização

O nascimento da robótica se deu no contexto industrial, onde a automação de atividades repetitivas garantiu maior eficiência e, conseqüentemente, maior lucro [Romano 2002]. Porém, com o passar dos anos, a robótica vem se expandindo e fazendo parte da vida cotidiana de muitos [Galvan et al. 2006]. A robótica é uma importante ferramenta que apóia o trabalho humano em diversos contextos, seja para a limpeza de uma casa [Martins 2008] ou até para explorar novos planetas, por exemplo [Maimone, Cheng e Matthies 2007].

No contexto da robótica móvel, existem por exemplo, os robôs de serviço. Os quais vêm sendo largamente evoluídos pela comunidade de robótica [Pinto 2008]. Ainda segundo [Pinto 2008], estes robôs, geralmente, desempenham ações que contemplam aplicações, como:

- Aplicações que envolvam risco de vida significativo para humanos [Maimone, Cheng e Matthies 2007];
- Funções economicamente desvantajosas no uso de trabalhadores humanos [Romano 2002];
- Uso humanitário (cadeiras de rodas autônomas, por exemplo);
- Uso educacional [FARROKHSIAR, KRYE e NAJJARAN 2010].

Robôs de serviço capazes de se deslocar livremente pelo ambiente, conhecendo-o, poderão realizar suas atividades de forma mais eficiente [Pinto 2008], o que garante sua autonomia.

Segundo [Romano 2002], a palavra *automação* traz à mente a noção de que a máquina será capaz de sentir e interagir com o ambiente, conseguindo se localizar e navegar por ele, executando suas atividades. Para que esta navegação seja possível, o robô precisa obter informações sobre o ambiente, as quais são obtidas a partir da utilização de sensores [Chew et al. 2009]. Segundo [Machado 2003], existem inúmeros tipos de sensores, desde sensores de toque até sensores de visão ou de som. Os sensores mais utilizados em robôs móveis, segundo [Machado 2003], são:

- *Odômetro:*

São sensores de implementação simples e de baixo custo. Este tipo de sensor conta a quantidade de rotações de cada roda do robô, o que permite calcular o trajeto percorrido pelo mesmo. Esta técnica é conhecida como *dead-reckoning*, como é apresentado por [Won et al. 2008]. Segundo [Machado 2003], técnicas como o *dead-reckoning* são bastante suscetíveis a erros, graças ao não alinhamento das rodas, derrapagens das mesmas e até erros no sinal dos sensores.

- *Câmera:*

A utilização de câmeras pode ser bastante útil quando se deseja navegar em um ambiente fechado, construído pelo homem e com características bem definidas, como afirma [Machado 2003]. Porém, sua utilização possui uma exigência computacional [Oliveira 2008] que muitas vezes pode inviabilizá-la.

- *Sonar:*

É um tipo de sensor de proximidade barato e de fácil utilização e, por esse motivo, é bastante utilizado em robôs móveis para ambientes fechados [Machado 2003]. Ainda segundo [Machado 2003], em ambientes abertos, este é um sensor falho, devido ao seu alcance limitado e por não ser direcionado.

- *Infravermelho:*

É um tipo de sensor muito semelhante aos sonares, porém, estes são direcionados, ou seja, são capazes de identificar a direção do objeto [Pinto 2008].

- *Laser:*

Também é um tipo de sensor semelhante aos sonares e sensores de infravermelho, entretanto, esses, além de serem direcionados, são mais precisos. O que os tornam equipamentos mais caros, como apresenta [Machado 2003].

A utilização de cada tipo de sensor se dá de acordo com o contexto em que se deseja navegar, levando em consideração a maneira mais viável de entender o ambiente ao seu redor [Machado 2003]. Utilizando os sensores, o robô obterá informações sobre o ambiente, e precisa processá-las para *entender* o mesmo. A maneira de processar (analisar) essas informações também depende do contexto da navegação, como mostra [Santos, Silva e Almeida 2002].

Para que a navegação ocorra sem colisões em obstáculos, o robô precisa, além de informações sobre o ambiente, informações relacionadas a sua posição em relação a este ambiente [Pinto 2008]. Para solucionar este problema, uma técnica bastante difundida é a utilização de mapas, como mostra [Santos, Silva e Almeida 2002]. Nesta técnica, o robô recebe o mapa do ambiente que se deseja navegar a priori e, a partir deste

mapa, traça sua trajetória sem obstáculos. Utilizando este mapa e informações do ambiente, o robô é capaz de se auto-localizar no ambiente, navegando com maior precisão [Santos, Silva e Almeida 2002].

Por outro lado, esta técnica possui requisitos que, muitas vezes, são inviáveis, como o conhecimento prévio do mapa do ambiente. Caso o objetivo seja navegar em um ambiente desconhecido, onde não há mapa nem pontos de referência já conhecidos, deve-se buscar formas de se auto-localizar e navegar utilizando apenas as informações obtidas pelos sensores. Para isso, vem sendo discutida na comunidade de pesquisadores em robótica móvel, a resolução do problema de SLAM (Auto-Localização e Mapeamento de Ambientes Simultâneos). Segundo [Dissanayake et al. 2001], SLAM é considerado, pela comunidade, como o *Santo Graal* da robótica móvel.

2.2 O Problema de SLAM

Auto-localização e Mapeamento de Ambientes Simultâneos (SLAM) é uma técnica bastante utilizada para navegação em diferentes contextos, como na navegação marítima, por exemplo [Dissanayake et al. 2001]. Esta técnica garante a possibilidade do robô navegar em um ambiente desconhecido, construindo um mapa do ambiente e, simultaneamente, utilizar este mapa para se auto-localizar em relação ao ambiente [Dissanayake et al. 2001]. Ou seja, a técnica de SLAM, utilizando conceitos de inteligência artificial, garante autonomia móvel à máquina.

Segundo [Dissanayake et al. 2001], uma máquina capaz de partir de um ponto de origem desconhecido em um ambiente desconhecido e, utilizando seus sensores, mapear o ambiente, utilizando este mapa, simultaneamente, para se auto-localizar no ambiente faz juz a palavra *robô*. Desse modo, com a vontade de criar verdadeiros *robôs*, pesquisadores em robótica móvel vêm desenvolvendo e evoluindo diversas soluções para o problema de SLAM, nos mais diferentes contextos [Won et al. 2008]. Esta busca por uma solução elegante ao problema de SLAM possui o intuito de maximizar a efetividade da navegação autônoma [Pinto 2008].

A possibilidade de se auto-localizar em um ambiente garante façanhas importantes para a robótica, como a resolução do problema do *sequestro do robô*, por exemplo, como mostra [Bukhori, Ismail e Namerikawa 2015]. Este é um problema especial de localização global no campo da robótica móvel, onde o desafio deste problema, segundo [Majdik et al. 2010], é fazer com que o robô seja capaz de se localizar em um mapa após ser sequestrado.

A ocorrência do *sequestro* se dá quando, o robô, enquanto navega em um ambiente, é retirado do seu local e levado a outro totalmente desconhecido [Bukhori, Ismail e Namerikawa 2015]. Em uma situação normal, o robô não seria capaz de entender que não está mais no local

onde estava, fazendo com que o mesmo se perdesse. Diversas técnicas para solucionar este problema já foram desenvolvidas, geralmente utilizando como apoio o filtro de partículas, que será apresentado mais a frente [Majdik et al. 2010].

De acordo com [Adams, Mullane e Vo 2013], graças à natureza imperfeita presente nos sensores, à falta de previsibilidade em ambientes reais de atuação e à necessidade de aproximações para viabilizar a análise de decisões computacionais, a robótica é uma ciência dependente de algoritmos probabilísticos. Desse modo, as diversas soluções desenvolvidas, geralmente, diferem umas das outras pela utilização dos algoritmos probabilísticos. Entre os algoritmos mais utilizados, se destacam o *filtro de kalman* e o *filtro de partículas*, como mostram as seções 2.2.1 e 2.2.2.

2.2.1 Filtro de Kalman

De acordo com [Dissanayake et al. 2001], a abordagem probabilística mais utilizada para resolução do problema de SLAM é a utilização do filtro de Kalman. [Pinto 2008] descreve o filtro de Kalman como: *"Um algoritmo recursivo de processamento de informações, proporcionando a estimação ótima do estado de um sistema dinâmico com ruído linear"*.

Como mostra [Pinto 2008], entre as disciplinas presentes na utilização deste filtro, se encontram:

- Mínimos quadrados;
- Teoria das probabilidades;
- Sistemas dinâmicos;
- Sistemas estocásticos;
- Álgebra.

Apesar das colocações, a utilização da abordagem do filtro de Kalman, geralmente, exige requisitos computacionais de alto custo, dificultando sua utilização em um contexto de robôs simples, onde baixo processamento e pouca memória fazem parte da realidade [Machado 2003].

Em seu trabalho, [Dissanayake et al. 2001] exemplifica este problema, quando quantifica a relação entre o crescimento do requisito computacional necessário para a quantidade de pontos de referência no ambiente, com a utilização do filtro de Kalman. Segundo ele, enquanto a quantidade de pontos de referência aumenta em N , os requisitos computacionais e de armazenamento necessários aumentam em N^2 . [Dissanayake et al. 2001]

mostra que este problema pode ser solucionado, em parte, utilizando técnicas de aproximação delimitada, por exemplo. Entretanto, estas técnicas minimizam o problema, mas não o solucionam completamente [Dissanayake et al. 2001].

2.2.2 Filtro de Partículas

Outra abordagem bastante utilizada para resolução do problema de SLAM envolve a utilização do filtro de Partículas, que é uma técnica para implementação de um *Filtro Bayesiano* de forma recursiva, utilizando o método de *Monte Carlo* [Won et al. 2008]. O método de Monte Carlo baseia-se em amostragens aleatórias em grande quantidade com o objetivo de estabelecer o valor de uma grandeza que não é disponível através de uma expressão matemática [Mooney 1997] e [Neto 2015].

O funcionamento desta abordagem se baseia em subdividir o ambiente em partículas espalhadas uniformemente, que representam o robô munido de seus sensores [Neto 2015]. Cada partícula é uma hipótese da posição atual do robô [Guizilini et al. 2004]. O robô e as partículas obtêm informações do ambiente; o robô utilizando seus sensores e as partículas utilizando equações matemáticas para geração destes dados [Neto 2015]. As informações obtidas pelo robô real são comparadas com as informações de cada partícula, excluindo as partículas que não oferecem informações semelhantes às do robô real [Neto 2015]. Com o passar dos ciclos, as partículas que ainda continuam no ambiente representam a posição atual do robô [Neto 2015].

A partir da comparação entre estas duas abordagens (filtro de Kalman e filtro de Partículas) [Neto 2015], observou-se que as duas possuem vantagens e desvantagens. O filtro de Kalman converge mesmo com um estado inicial impreciso, fornecendo informações sobre as incertezas presentes em cada estágio e permitindo, ainda, a incorporação de toda a informação disponível (sensores) para minimizar a margem de erro da estimativa [Neto 2015]. Porém, ele só garante a efetividade da estimativa para sistemas lineares com ruídos gaussianos [Neto 2015]. O mesmo não resolve o problema do *sequestro do robô*, apresentado anteriormente.

Já o filtro de Partículas permite sua utilização em sistemas sem ruído gaussiano, e soluciona o problema do sequestro do robô [Seifzadeh, Wu e Wang 2009]. Entre suas desvantagens, encontram-se o custo computacional e a dificuldade da definição da quantidade ideal de partículas a serem utilizadas [Neto 2015].

As duas abordagens apresentadas anteriormente são amplamente utilizadas em diversos contextos do mundo real, contemplando questões importantes a serem estudadas e refinadas por estudiosos de engenharia de todo o mundo, desde estudantes que buscam ingressar nesta área até profissionais da área [Chew et al. 2009]. Desse modo, vê-se a necessidade da adaptação de técnicas de resolução do problema de SLAM, seja a partir

de uma abordagem baseada no filtro de Kalman, ou de uma abordagem baseada no filtro de Partículas, para um contexto Educacional. Nesse contexto, sensores, capacidades de processamento e memória são bastante limitados [Zhao et al. 2008].

2.3 Robótica Educacional

A utilização da robótica como uma ferramenta de apoio ao aprendizado vem sendo ampliada com o passar dos anos [Galvan et al. 2006]. Principalmente, graças ao reconhecimento, por muitos autores, dos benefícios da utilização destas tecnologias como abordagem de ensino, onde os alunos são inseridos no problema real e instigados a solucioná-lo [Galvan et al. 2006], [Nunes e Santos 2013], [Benitti et al. 2009].

Entre os benefícios apresentados por [Quartiero 2007] e [Costa 2010], pode-se destacar, o maior interesse dos alunos sobre o tema, a abordagem facilitadora para o relacionamento entre aluno, professor e conteúdo, a experiência com trabalho em grupo, a multidisciplinariedade e a construção do conhecimento por parte do aluno.

Referente ao aperfeiçoamento do interesse dos alunos sobre o tema, [Nunes e Santos 2013] e [Galvan et al. 2006], apresentam motivos deste aperfeiçoamento, como:

- Curiosidade sobre a tecnologia
- Reconhecimento do problema real como um problema cotidiano do aluno
- Utilização do princípio *Hands-on* [Costa 2010]

Sobre o aperfeiçoamento da relação entre alunos, professor e conteúdo, [Nunes e Santos 2013], destaca a reformulação do padrão de ensino e aprendizagem durante a aula. De acordo com [Nunes e Santos 2013], no contexto do ensino tradicional, o aluno busca *clonar* o conhecimento do professor, decorando informações para, no futuro, utilizá-los no contexto real. [Benitti et al. 2009] acrescenta que, esta abordagem, além de limitar o aprendizado do aluno ao conhecimento do professor, minimiza a capacidade de aprendizado do aluno, já que o conhecimento não é construído, e sim repassado.

Já na abordagem da utilização de tecnologias no contexto educacional, a resolução prática do problema atacado faz com que alunos e professores trabalhem lado-a-lado, muitas vezes realizando troca de papéis aluno/professor, como apresentam [Nunes e Santos 2013] e [Quartiero 2007]. Desse modo, em muitas ocasiões, os alunos se encontram explicando uma possível solução do problema ao professor, o que acaba com o aprendizado limitado ao conhecimento do professor [Costa 2010]. [Nunes e Santos 2013] caracteriza o professor como um fio condutor do conhecimento, e não a fonte do mesmo.

Já, de acordo com a relação da experiência do aluno em trabalhos em grupo, a abordagem *Hands-on* garante que todos os envolvidos na solução devem interagir entre si, tro-

cando conhecimento e ideias [Galvan et al. 2006]. Qualquer contexto em que se deseja trabalhar, atualmente, envolve inúmeras atividades de trabalho em grupo [Galvan et al. 2006]. Desse modo, o aperfeiçoamento da capacidade de trabalhar em grupo é uma atividade essencial para o futuro profissional do aluno [Costa 2010].

Outra característica importante da utilização da tecnologia como ferramenta de aprendizado, é a multidisciplinariedade [Silva et al. 2014], já que conteúdos referentes a diversas disciplinas são trabalhados e adaptados para buscar a solução do problema atacado. [Galvan et al. 2006] sugere a utilização de atividades multidisciplinares para aprendizado de conteúdos base, como matemática e física, minimizando o problema do conhecimento parcial de certos conteúdos.

Além de todos os benefícios apresentados acima, uma forte qualidade da abordagem *Hands-on* é referente a construção do conhecimento por parte do aluno [Costa 2010]. Esta construção é gerada utilizando conhecimentos básicos de diferentes disciplinas para solucionar um problema que exige a integração de diversos conteúdos, seguindo uma filosofia construcionista, como é apresentado por [Nunes e Santos 2013].

De acordo com [Nunes e Santos 2013], quando o aluno se sente imerso no problema trabalhado, a maneira com que o mesmo aprende é aperfeiçoada, maximizando as relações entre aluno, professor e conteúdo. Este pensamento segue uma filosofia construcionista, a qual, de acordo com [Nunes e Santos 2013], implica no objetivo de ensinar, de forma a produzir o máximo de aprendizagem a partir do mínimo de ensino.

A utilização de aplicações rotineiras do mundo real é uma forma bastante eficaz de obter máximo interesse dos alunos nos conteúdos apresentados [Nunes e Santos 2013]. Desse modo, inserir alunos na resolução de problemas presentes no contexto da robótica móvel, por exemplo, fará com que os mesmos aprendam, com eficiência, diversos temas recorrentes no contexto mundial da robótica móvel [Chew et al. 2009], além de conteúdos presentes em diversas disciplinas, como matemática e física [Maliuk 2009].

O construcionismo é baseado em uma filosofia construtivista [Nunes e Santos 2013], que afirma que o conhecimento não deve ser uma cópia da realidade, e sim uma construção, realizada pelo aluno a partir da sua interação com o contexto do problema [Becker 2009].

Segundo [Chew et al. 2009], a utilização da robótica no meio da educação traz inúmeros benefícios que vão além dos objetivos diretos da melhoria da aprendizagem. De acordo com ele, sua utilização garante a introdução dos estudantes nos problemas recorrentes do contexto de Engenharia mundial. Esta introdução possui grande importância para a evolução do país, já que a demanda por profissionais qualificados na área de Engenharia, no mundo atual, é ampla [Chew et al. 2009]. De acordo com [Silva et al. 2014], em 2014 no Brasil, haviam cerca de 78 mil vagas relacionadas à área de Tecnologia da Informação e apenas 33 mil foram preenchidas, o que comprova a falta de profissionais

na área. [Silva et al. 2014] afirma, ainda, que o motivo para esta falta de profissionais é resultado advindo do baixo interesse por parte dos estudantes brasileiros por ciências exatas.

Grande parte deste baixo interesse, segundo [Becker 2009], é devido a metodologia tradicional de ensino, onde os alunos buscam copiar o conhecimento do professor, sem atividades com abordagem construcionista de aprendizado, por exemplo. Uma forma de aumentar o interesse dos alunos, segundo [Maliuk 2009], é a utilização da robótica como uma ferramenta de apoio ao aprendizado, seguindo uma abordagem construcionista.

Atualmente, de acordo com [Silva et al. 2014], no Brasil, o ensino de computação e robótica se restringe aos níveis superiores e técnicos, exceto alguns projetos realizados por universidades em escolas de nível fundamental e médio, como [Serrano e Serrano 2014]. Esta introdução tem como objetivo introduzir noções lógicas e computacionais na Educação Básica, despertando o interesse dos alunos nas ciências exatas e estimulando-os a ingressar na carreira de Engenharia [Silva et al. 2014].

Diversas ferramentas já foram desenvolvidas com o objetivo de apoiar a inserção de alunos da Educação Básica no contexto da computação e robótica, na seção 3.2 são apresentadas algumas utilizadas por [Silva et al. 2014], [Serrano e Serrano 2014], [Chew et al. 2009]. Ferramentas como essas, são utilizadas em diversos contextos, desde a utilização como apoio ao aprendizado, como mostra [Galvan et al. 2006], até a utilização em campeonatos e jogos, como mostra [Lau et al. 2002].

De acordo com [Silva et al. 2014], algumas abordagens utilizam ferramentas virtuais para facilitar o aprendizado. Por outro lado, segundo [Chew et al. 2009], a utilização de ferramentas reais, equipadas com sensores e atuadores garantem maior interesse e introdução do aluno no contexto da engenharia do mundo real. Desse modo, a ferramenta utilizada neste trabalho será o kit de robótica educacional Mindstorm, da Lego, que tem suas características especificadas na seção ??.

2.3.1 Lego Mindstorms NXT

Com o passar dos anos, os componentes de *hardware* vêm sendo evoluídos continuamente [Galvan et al. 2006]. Esta evolução faz com que o preço de componentes simples tenda a diminuir, como é o caso de pequenos processadores poderosos e praticamente descartáveis [Galvan et al. 2006]. Desse modo, esta evolução dos componentes de *hardware* vem permitindo a utilização dos mesmos em diversos contextos, como educação e entretenimento.

Com o crescimento de demandas relacionadas a estes comonentes, nascem os kits de robótica que integram componentes simples, porém, poderosos para utilização no contexto educacional e de entretenimento [Galvan et al. 2006]. Entre os kits existentes atualmente

no mercado, destaca-se o kit de robótica Mindstorm, da Lego, o qual foi desenvolvido na década de 80 por pesquisadores do MIT. O kit utiliza peças de montagem no padrão Lego para construir a estrutura do robô, diversos tipos de sensores e alguns atuadores, para garantir a mobilidade e interação com o ambiente [Galvan et al. 2006].

Desde o lançamento do kit, na década de 80, o mesmo é utilizado por instituições de ensino como ferramenta de apoio ao aprendizado. O sucesso do kit o garantiu premiações devido a sua reusabilidade, modularidade e simplicidade, tudo isso associado ao seu baixo custo [Galvan et al. 2006].

O cérebro do kit pode ser observado na figura 1, onde se encontra um microprocessador disposto de diversos acessos para sensores e atuadores. Em alguns modelos do kit, o cérebro possui uma tela LCD e alguns botões para interação do usuário. Além do cérebro, o kit possui alguns sensores, como o apresentado na figura 2, e atuadores, como na figura 3

Figura 1 – Microprocessador central



Figura 2 – Sensor RGB - Lego



Figura 3 – Atuador - Lego



Além da obtenção do kit completo, como mostra na figura 4, é possível adquirir componentes separados, como sensores e atuadores específicos, o que garante a possibilidade de adquirir apenas os componentes necessários para o contexto de aplicação, minimizando os custos da sua utilização.

Figura 4 – Kit Mindsotm completo - Lego



2.4 Considerações parciais

A utilização da tecnologia como ferramenta de apoio ao aprendizado, como foi apresentado durante o capítulo, garante diversos benefícios ao aluno e até ao professor. Principalmente quando o contexto trabalhado envolve problemas reais da comunidade de robótica, como o problema de SLAM. A partir desta linha de pensamento, este capí-

tulo buscou apresentar conceitos importantes para viabilizar a compreensão da pesquisa realizada.

A partir do conteúdo apresentado durante este capítulo, este trabalho irá buscar aplicar técnicas de auto-localização no contexto limitado da robótica educacional, aproximando os estudos em sala de aula dos contextos da robótica mundial.

3 Suporte Tecnológico

Nesta seção, serão apresentadas ferramentas e tecnologias utilizadas para auxiliar o desenvolvimento deste projeto. Desde a organização e definição da metodologia de pesquisa, até o desenvolvimento dos projetos pilotos durante o trabalho. Esta seção está dividida em *Engenharia de Software* e *Robótica Educacional*.

3.1 Engenharia de Software

Neste tópico, serão apresentadas ferramentas e tecnologias voltadas ao contexto da Engenharia de Software que são utilizadas durante este trabalho, como por exemplo ferramentas para gerência de configuração e versionamento dos artefatos gerados.

3.1.1 GIT

A ferramenta GIT¹ foi desenvolvida por Linus Torvalds, mesmo criador do Linux, e assim como ele, é *open-source*. Disponibiliza uma eficiente forma de versionamento e gerenciamento de projetos.

3.1.2 Github

O Github² é uma ferramenta utilizada para hospedagem remota de projetos GIT. A ferramenta contempla uma *Wiki* para documentação do projeto e sistemas de *Issues* e *Milestones*³ para gerenciamento de atividades.

3.1.3 Bonita BPMN

Ferramenta para modelagem de processos *BPMN*⁴, o Bonita⁵ foi escolhido graças a sua facilidade de utilização e portabilidade para o sistema operacional Linux.

3.1.4 Linux Mint

O sistema operacional utilizado durante este trabalho é o Linux Mint⁶ e o Windows 7 Ultimate⁷.

¹ <https://git-scm.com/>

² <https://github.com>

³ <https://guides.github.com/features/issues/>

⁴ <http://www.bpmn.org/>

⁵ <http://www.bonitasoft.com/>

⁶ <https://www.linuxmint.com/>

⁷ <https://www.microsoft.com/pt-br/software-download/windows7>

3.1.5 LaTeX

O LaTeX⁸ é um sistema para criação de documentos utilizando textos *tex*, foi inicialmente desenvolvido por Leslie Lamport, na década de 80. O LaTeX oferece diversos comandos avançados para organização de alto nível de documentos, incluindo facilitadores para citações, bibliografias, fórmulas matemáticas, figuras e tabelas.

3.1.6 Sublime Text 3

O Sublime Text 3⁹, é um editor de texto bastante utilizado por programadores, por possuir apoio para diversas linguagens de programação, incluindo textos em LaTeX.

3.2 Robótica educacional

3.2.1 RoboMind

É um ambiente de desenvolvimento proposto por Arvid Halma¹⁰, da Universidade de Amsterdam, que tem como objetivo facilitar o ensino de programação para estudantes do ensino básico. Utiliza um robô virtual para exercitar os conceitos de inteligência artificial e lógica de programação. A linguagem utilizada é chamada Robo/Roo, e permite implementação da movimentação do robô em um ambiente 2D (duas dimensões). As funções básicas da ferramenta, são *ver*, *andar*, *pegar*, *pintar*, como mostra a figura 5.

Figura 5 – Funções básicas RoboMind



⁸ <https://www.latex-project.org/>

⁹ <https://www.sublimetext.com/3>

¹⁰ <http://www.robomind.net/pt/index.html>

3.2.2 Scratch

É um ambiente de desenvolvimento criado por Lofelong Kindergarten Group(LLK)¹¹, que é um grupo de pesquisa do MIT. Também tem como objetivo introduzir conceitos de programação a alunos da educação básica. Com a utilização desta ferramenta é possível desenvolver jogos, animações e histórias interativas, de modo visual.

A utilização da ferramenta pode ser visualizada na figura 6, onde são apresentadas funções básicas no modo visual de desenvolvimento do Scratch.

Figura 6 – Funções básicas Scratch



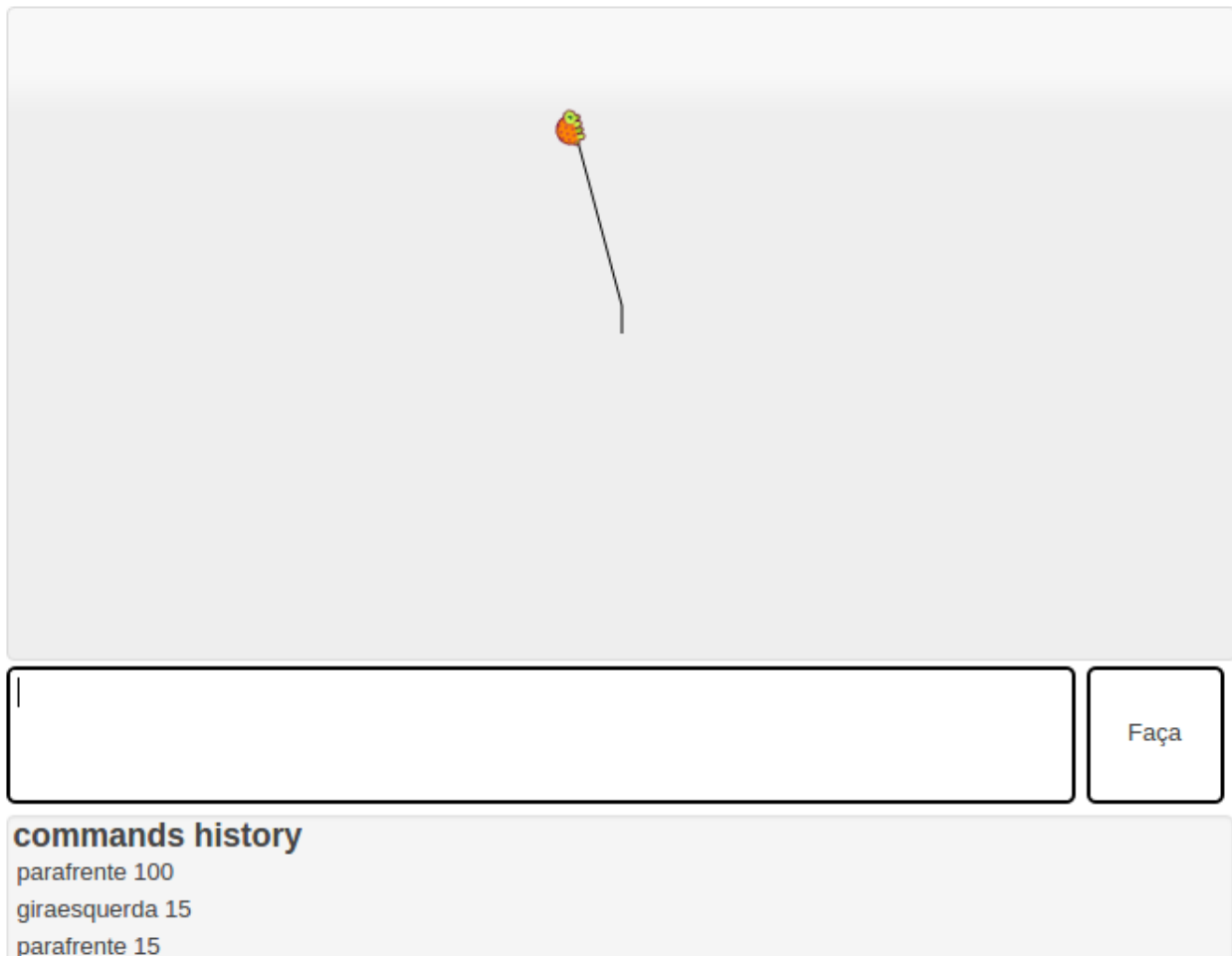
3.2.3 Linguagem Logo

A linguagem Logo¹² também foi desenvolvida em 1967, também pelo MIT. É uma linguagem interpretada, bastante utilizada para o desenvolvimento de inteligência artificial no contexto educacional. Sua utilização também é de forma visual, como apresenta a figura 7. A caixa de texto visível na figura 7 recebe os comandos para movimentação do robô virtual em um ambiente 2D (duas dimensões).

¹¹ <https://llk.media.mit.edu/projects/>

¹² <https://logo.codeplex.com/>

Figura 7 – Ambiente de desenvolvimento em Logo



3.2.4 Kodu Game Labs

Foi desenvolvido pelo laboratório de pesquisas FUSE (Future Social Experiences)¹³, que é mantido pela Microsoft. Esta ferramenta possui uma complexidade que não estava presente nas ferramentas apresentadas anteriormente. Seu objetivo é desenvolver jogos em ambiente 3D (três dimensões) no contexto educacional, facilitando o aprendizado de programação orientada a objetos.

Os jogos desenvolvidos se baseiam na criação de um mundo completo, com personagens, ações e objetos. Os personagens utilizados podem ser inseridos com funções já pré-definidas, ou o usuário pode programar o personagem da forma de desejar, garantindo a flexibilidade e quantidade de possibilidades da ferramenta.

¹³ <https://fuse.microsoft.com/>

3.2.5 Alice

Assim como o Kodu Game, a ferramenta Alice¹⁴ também disponibiliza um ambiente tridimensional para desenvolvimento de animações e jogos interativos. Foi desenvolvida por um grupo de pesquisa liderado por Randy Pausch¹⁵, da Universidade de Virgínia e Universidade de Carnegie Mellon. Diferentemente do Kodu Game, a ferramenta Alice possui apenas um *Mundo* onde serão implementadas todas as histórias e relações da animação ou jogo. Após análise da ferramenta, [Silva et al. 2014] cita problemas de instabilidade e *bugs*.

3.2.6 Mindstorms Lego

Os kits de robótica Mindstorms da Lego, diferentemente de todas as ferramentas apresentadas acima, disponibiliza um ambiente real de desenvolvimento. Envolve a implementação de ações dos atuadores presentes em cada robô, onde estas ações serão executadas se baseando nas informações advindas dos sensores. A especificação desta ferramenta se encontra na seção 2.3.1.

3.3 Considerações parciais

Este capítulo buscou apresentar as ferramentas e tecnologias utilizadas para apoiar o desenvolvimento desta pesquisa, desde a revisão sistemática até a implementação da adaptação durante a segunda etapa do trabalho. Analisando as ferramentas utilizadas, observa-se que a base tecnológica do trabalho é resumida em componentes gratuitos e, se possível, *open source*.

¹⁴ <http://www.aliceprogramming.net/>

¹⁵ <http://www.cs.cmu.edu/~pausch/news/>

4 Proposta

Este capítulo apresenta detalhes sobre a pesquisa realizada durante a primeira e segunda etapa deste trabalho de conclusão de curso. O capítulo foi organizado nas seções de *Obtenção da base teórica*, a partir da utilização de revisão sistemática, e *Adaptação e implementação*, onde serão especificados os objetivos práticos da pesquisa.

4.1 Obtenção da base teórica

Como qualquer trabalho científico, para alcançar os objetivos da pesquisa, faz-se necessária a realização de uma pesquisa bibliográfica buscando obter uma base teórica suficiente para sustentar o trabalho realizado. Durante este trabalho de conclusão de curso, como uma forma de obtenção da base teórica, será utilizada a técnica de revisão sistemática.

O grande foco da revisão sistemática deverá ser as técnicas de resolução do problema de SLAM utilizadas atualmente, em diferentes contextos. Levando sempre em consideração a utilização das mesmas em um contexto simplificado e educacional. A identificação destas técnicas possibilita a seleção e adaptação das mesmas para viabilizar sua implementação no contexto simplificado.

4.2 Adaptação e implementação

Após a identificação e análise de diferentes técnicas de resolução do problema de SLAM, nos mais variados contextos, o trabalho selecionará as mais viáveis para realizar uma adaptação ao contexto simplificado da robótica educacional. Com a seleção das mesmas, integrações entre técnicas poderão ser utilizadas para maximizar a qualidade da solução.

O contexto que será aplicado envolve o kit de robótica Mindstorms, da Lego, e a utilização dos seguintes sensores:

- sonar,
- odometria e, possivelmente,
- bússola.

Ou seja, as técnicas obtidas, se utilizarem sensores diferentes dos listados acima, deverão ser adaptadas buscando a implementação da mesma com apenas estes sensores.

4.3 Considerações parciais

5 Metodologia

De acordo com [Oliveira 2011], a metodologia de pesquisa adotada neste trabalho pode ser classificada nas seguintes categorias: classificação quanto aos objetivos da pesquisa, quanto à natureza da pesquisa, quanto à escolha do objeto de estudo, quanto à técnica de coleta de dados, e quanto à técnica de análise de dados. A classificação escolhida em cada categoria busca garantir conhecimento amplo sobre diferentes técnicas de solução do problema de SLAM, possibilitando a adaptação de técnicas para um contexto de robôs simples. Nas seções seguintes, são apresentadas as categorias e suas respectivas classificações de pesquisa adotadas para este trabalho.

5.1 Classificação da Pesquisa

De acordo com [Gerhardt e Silveira 2009], uma pesquisa científica pode ser classificada nas categorias *abordagem da pesquisa*, *natureza da pesquisa*, *objetivos da pesquisa*, e *procedimentos*, que são apresentadas nas seções 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3 e 5.1.4, respectivamente.

5.1.1 Abordagem da pesquisa

A classificação deste trabalho em relação à abordagem da pesquisa é definida como *qualitativa*. Segundo [Oliveira 2011], abordagens de cunho qualitativo buscam o significado dos dados obtidos, capturando, além da aparência do fenômeno estudado, suas essências. Dessa forma, a pesquisa qualitativa envolve a obtenção e a análise dos dados descritivos por meio do contato direto entre o pesquisador e o fenômeno estudado [Oliveira 2011].

A abordagem qualitativa não busca definir resultados de maneira quantificável, como mostra [Gerhardt e Silveira 2009], buscando compreender de forma subjetiva o evento estudado. Nesse trabalho, os dados serão coletados em ambiente controlado e analisados de forma não quantificável, buscando caracterizar os resultados como, por exemplo, satisfatórios ou não, caracterizando, assim, segundo [Gerhardt e Silveira 2009], uma pesquisa qualitativa.

Sua utilização, durante este trabalho, tem como objetivo, entender detalhadamente o funcionamento de diversas técnicas de resolução do problema de SLAM, viabilizando a adaptação das mesmas para um contexto limitado. Além disso, a proximidade do pesquisador com o fenômeno a ser estudado possibilita uma análise descritiva dos dados de forma que viabilize uma adaptação de técnicas para contextos limitados.

5.1.2 Natureza da pesquisa

A classificação deste trabalho em relação à natureza da pesquisa é definida como *pesquisa aplicada*, devido ao fato de buscar solucionar um problema recorrente no contexto mundial da robótica. Segundo [Gerhardt e Silveira 2009], "*a pesquisa aplicada busca gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos*".

5.1.3 Objetivos da pesquisa

A classificação deste trabalho em relação aos objetivos da pesquisa é definida como *exploratória*. De acordo com [Oliveira 2011], a pesquisa exploratória tem como objetivo ampliar os conhecimentos do pesquisador sobre o tema. A pesquisa exploratória é, normalmente, o primeiro passo quando o pesquisador não conhece suficientemente a área que pretende abordar [Moresi 2003].

O uso da pesquisa exploratória, neste trabalho, se dá pela necessidade do conhecimento sobre as diversas técnicas de resolução do problema de SLAM, com o objetivo de possibilitar adaptações das mesmas para o contexto de robôs simples.

5.1.4 Procedimentos

Quanto aos procedimentos da pesquisa, a mesma foi dividida em duas etapas. Durante a primeira etapa o procedimento seguido foi *pesquisa bibliográfica*. A qual, segundo [Gerhardt e Silveira 2009], é feita a partir do levantamento de referências teóricas publicadas por meio de livros, artigos, páginas da web, entre outros.

Já na segunda etapa do trabalho, o procedimento a ser seguido será o de *pesquisa-ação*. Como [Gerhardt e Silveira 2009] afirma, "*a pesquisa-ação pressupõe uma participação planejada do pesquisador na situação problemática a ser investigada*". Além da participação do pesquisador, o objeto de estudo da pesquisa-ação não pode ser representado por um conjunto de variáveis que poderiam ser analisadas separadamente [Gerhardt e Silveira 2009].

A utilização da *pesquisa-ação* durante este trabalho é devido ao conhecimento que será obtido pelo pesquisador durante a participação ativa na situação estudada, possibilitando análises amplas de todo o contexto.

De acordo com a classificação da pesquisa nas diferentes categorias apresentadas acima, a tabela 1 apresenta, de maneira resumida, a abordagem definida para realização deste trabalho.

Cronograma	Março	Abril	Maiο	Junho
Selecionar Tema	X			
Realizar pesquisa bibliográfica	X	X	X	X
Definir proposta	X			
Escrever referencial teórico		X	X	
Estabelecer suporte tecnológico		X	X	X
Evoluir metodologia		X	X	
Realizar prova de conceito				X
Apresentar TCC 1				X

Tabela 2 – Cronograma TCC 1

Tabela 1 – Classificação da pesquisa

Abordagem da pesquisa	Natureza da pesquisa	Objetivos da pesquisa	Procedimentos
Qualitativa	Aplicada	Exploratória	Pesquisa bibliográfica/ Pesquisa-ação

De acordo com [Marconi e Lakatos 2003], a partir da classificação da pesquisa, fica fácil estabelecer o *caminho* a ser seguido para realização da mesma. Portanto, definiu-se o processo metodológico, o qual é apresentado na seção 5.2.

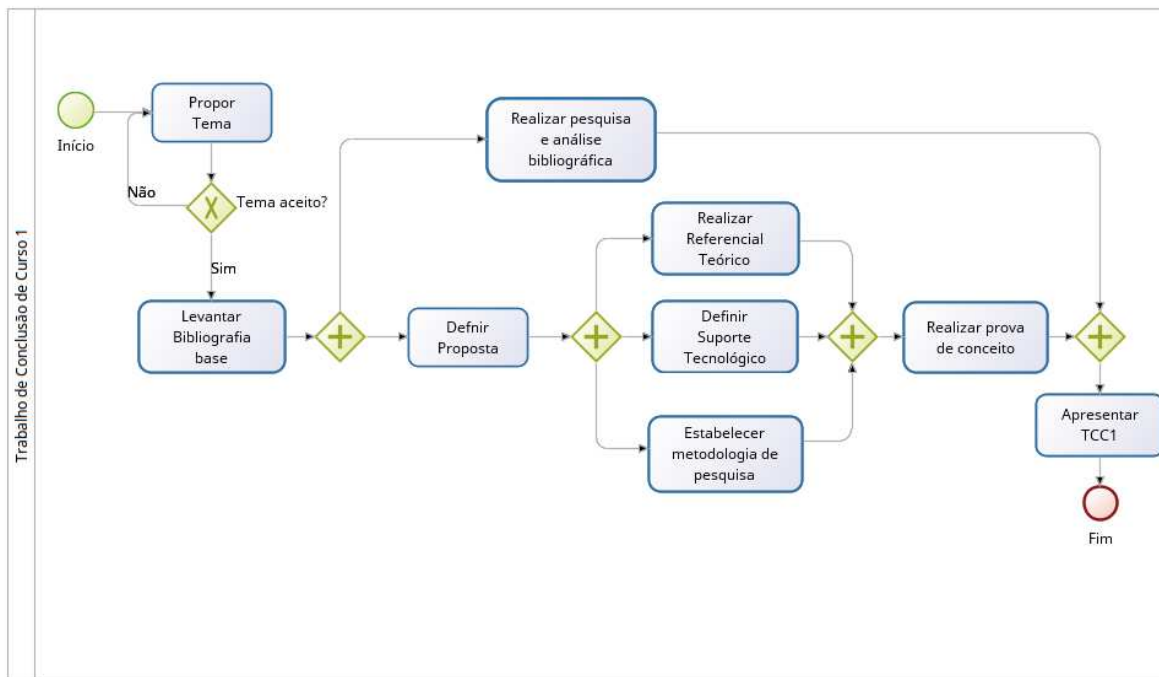
5.2 Processo Metodológico

O TCC, segundo as regras da UnB, é realizado em duas fases: uma chamada de TCC_01 e outra chamada de TCC_02. Durante o TCC_01, o foco desse trabalho será estabelecer os pilares teóricos para embasamento do projeto como um todo, bem como desenvolver uma prova de conceito visando estudar a viabilidade da proposta. Já durante o TCC_02, o trabalho estará focado em atingir o objetivo geral *"Adaptar técnicas de resolução do problema de SLAM para o contexto de robôs simples, utilizando os kits de robótica Mindstorms da Lego, em um primeiro momento."*, com base nas fundamentações teóricas e nos resultados acordados na prova de conceito, ambos - fundamentações e resultados - conquistados ao longo do TCC_01.

O TCC_01 p de ser sub-dividido em oito atividades: *selecionar tema, realizar pesquisa bibliográfica, definir proposta, escrever referencial teórico, estabelecer suporte tecnológico, evoluir metodologia, realizar prova de conceito e apresentar TCC 1*. As mesmas estão distribuídas de acordo com o cronograma disposto na tabela 2.

Com o objetivo de definir e acompanhar o processo de desenvolvimento da primeira etapa do trabalho de conclusão de curso, foi modelado um processo metodológico, o qual se encontra na figura 8.

Figura 8 – Processo Metodológico



- **Propor tema:**

A atividade de propor tema engloba desde a escolha do contexto em que se deseja trabalhar, até a definição dos orientadores do trabalho. Após a escolha do contexto e dos orientadores, buscou-se definir um escopo que será abordado durante o trabalho, ou seja, o tema. Os orientadores devem validar o tema escolhido para concluir a atividade.

- **Levantar bibliografia base:**

Esta atividade refere-se à definição de pilares para o estudo proposto, ou seja, estabelecer o marco teórico do trabalho. Este levantamento garante o entendimento do contexto trabalhado e as possibilidades de atuação, especificando mais adequadamente o escopo.

- **Definir Proposta:**

Documentar a proposta de pesquisa para este trabalho. A proposta inclui, não apenas, mas, principalmente, uma introdução com a contextualização do tema, o objetivo geral e específicos, a justificativa e uma metodologia de pesquisa.

- **Realizar pesquisa e análise bibliográfica:**

A pesquisa bibliográfica foi feita a partir da utilização da técnica de *revisão sistemática*, com o objetivo de ampliar os conhecimentos em relação ao tema, conhecendo

pesquisas em diferentes contextos e de diversas bases científicas, como *IEEE*, *Springer* e *CAPES*. O detalhamento da revisão sistemática encontra-se na seção 6.

- **Realizar referencial teórico:**

Trata-se da escrita do capítulo dois deste trabalho. O mesmo descreve o referencial teórico do trabalho em andamento. Como insumos para esta atividade, encontram-se todas as pesquisas bibliográficas obtidas durante a atividade de *Realizar pesquisa e análise bibliográfica*. No segundo capítulo deste trabalho, o tema será especificado com mais detalhe.

- **Definir suporte tecnológico:**

Nesta atividade, são definidas as principais ferramentas e tecnologias utilizadas para a execução deste trabalho.

- **Estabelecer metodologia de pesquisa:**

Durante esta atividade, a metodologia de pesquisa inicial, apresentada durante a *proposta*, foi evoluída, com o objetivo de adequar as formas de atuação ao longo da realização do trabalho proposto.

- **Realizar prova de conceito:**

Durante esta atividade foi realizada a implementação de uma prova de conceito que buscou avaliar a viabilidade da realização deste trabalho. Durante a prova de conceito, que se encontra detalhada na seção ??, ferramentas e maneiras de mapear ambientes foram estudadas.

- **Apresentar TCC 1:**

Apresentar os resultados obtidos até o momento para a banca examinadora.

As atividades de *Levantar bibliografia base* e *Realizar pesquisa e análise bibliográfica* foram desenvolvidas utilizando a técnica de revisão sistemática, a qual se encontra detalhada na seção 5.2.1.

5.2.1 Revisão Sistemática

Durante décadas, as pesquisas se encontravam carentes de métodos científicos que detalhassem o processo de revisão de literatura, como mostra [?]. Esta carência acaba por impossibilitar a realização futura da mesma busca, já que sem detalhamento da pesquisa, o interessado não poderá aplicar a busca, realizando comparações, por exemplo. Desse modo, entre as décadas de 70 e 80, psicólogos e cientistas sociais buscaram definir métodos de sistematizar revisões de literatura, as chamadas *revisões sistemáticas*.

Com o objetivo de realizar uma ampla pesquisa bibliográfica, buscando conhecer diferentes técnicas de auto-localização e, mais especificamente, o problema de SLAM, utilizou-se da técnica de revisão sistemática. Uma revisão sistemática busca identificar e analisar o máximo de pesquisas relacionadas a um tema em específico, como define [Moraes e Souza 2011, p. 8]:

"Uma revisão literária sistemática é um meio de identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas disponíveis relevantes a uma determinada questão de pesquisa, ou área de um tópico, ou fenômeno de interesse. Estudos individuais que contribuem para uma revisão sistemática são chamados estudos primários; uma revisão sistemática é uma forma de estudo secundário."

Como afirma [Moraes e Souza 2011], a técnica de revisão sistemática é bastante utilizada quando se busca identificar soluções propostas para resolver o problema levantado. Neste trabalho, a revisão sistemática busca identificar técnicas de resolução do problema de SLAM em diferentes contextos, inclusive educacional.

5.2.1.1 Processo de Revisão Sistemática

O processo utilizado durante a pesquisa segue o processo de revisão sistemática apresentado por [Kitchenham et al. 2006]. Desse modo, o processo é dividido em três etapas: *planejamento da revisão*, *condução da revisão* e a *documentação da revisão*. As atividades que estão distribuídas entre essas etapas podem ser observadas na figura 9.

A descrição de cada atividade do processo da figura 9 encontra-se na tabela 3.

O detalhamento do desenvolvimento da revisão sistemática, como os ciclos de busca e o processo de refinamento da *string* estão detalhados no capítulo 6.

Figura 9 – Processo de revisão sistemática. Processo adaptado de [Kitchenham et al. 2006]

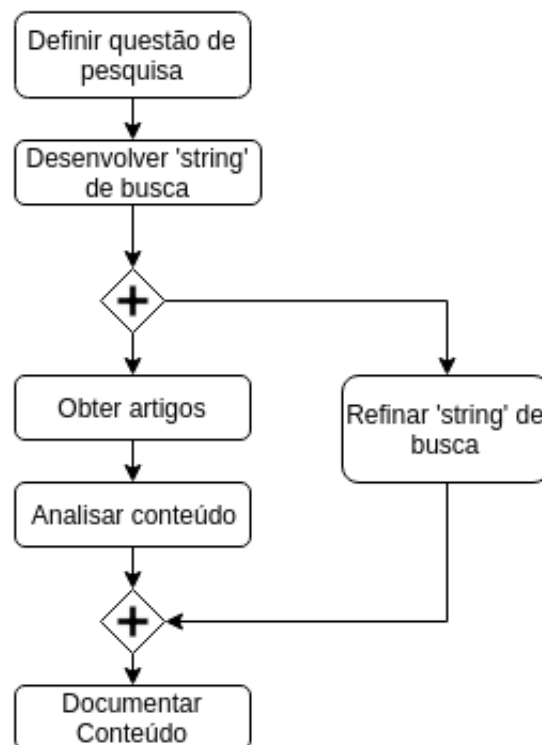


Tabela 3 – Processo de revisão sistemática

Atividade	Descrição
Definir questão de pesquisa	Atividade relacionada à definição do objetivo final da pesquisa, o que o pesquisador deseja alcançar com a mesma. A definição da questão de pesquisa possibilita o estabelecimento de critérios de busca durante os ciclos de revisão.
Desenvolver <i>string</i> de busca	Atividade de desenvolvimento. Na qual o objetivo é definir uma <i>string</i> de busca que represente todo o trabalho pesquisado. A <i>string</i> será refinada ao longo de toda pesquisa, buscando maximizar a efetividade das buscas.
Obter artigos	A partir da definição de um critério de busca, os artigos que se enquadram neste critério são selecionados para análise. A obtenção deve ser realizada em diferentes bases científicas, como IEEE, Springer e CAPES.
Analisar conteúdo	A análise do conteúdo busca, além de estudar o tema pesquisado, conhecer novas pesquisas e, com isso, refinar a <i>string</i> de busca.
Refinar a <i>string</i> de busca	Esta atividade é considerada uma das atividades mais importantes do processo de revisão sistemática. Busca maximizar a efetividade do processo de busca, identificando artigos importantes para a pesquisa.
Documentar conteúdo	A documentação do conteúdo, basicamente, é definida como o registro das informações necessárias à pesquisa, obtidas com os ciclos de pesquisa. Os resultados da revisão sistemática são frutos desta atividade.

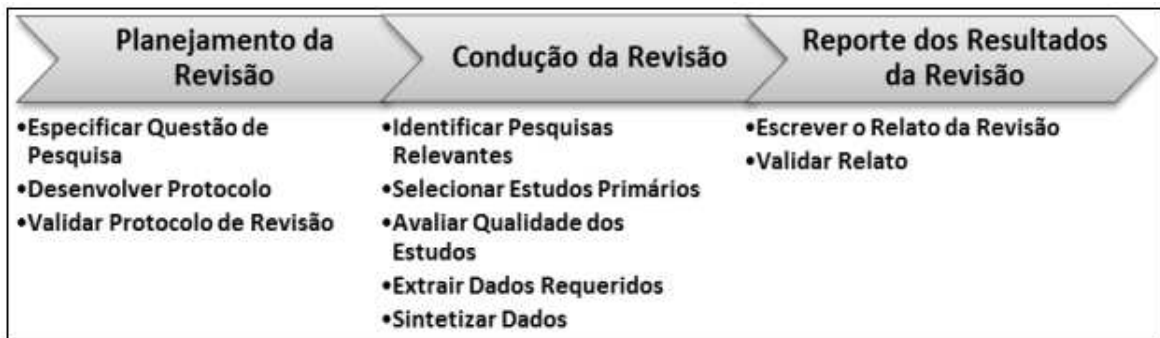
6 Resultados Parciais

Com a conclusão da primeira etapa da pesquisa, algumas informações referentes a situação atual do projeto podem ser apresentadas. Com este objetivo, este capítulo se sub-divide nas seções de *Revisão Sistemática*, *Desenvolvimento prático* e *Ações futuras*.

6.1 Revisão Sistemática

Com o objetivo de detalhar a revisão sistemática realizada durante esse trabalho de forma clara e objetiva, esta seção está dividida nas seções de 6.1.1, 6.1.2 e 6.1.3, seguindo o conceito apresentado por [Kitchenham et al. 2006], como mostra a figura 10.

Figura 10 – Processo geral de revisão sistemática, segundo [Kitchenham et al. 2006]



6.1.1 Planejamento da Revisão

Esta revisão sistemática se deu entre os meses de março e junho de 2016, utilizando como fonte de busca as bases *IEEE*, *CAPES* e *Springer*. A partir dos modelos de revisão sistemática apresentados por [Kitchenham et al. 2006] e [Brito et al. 2015], foi desenvolvido um protocolo de revisão, o qual possibilita, a outros pesquisadores, repetir a pesquisa.

6.1.1.1 Objetivos e questão de pesquisa

O objetivo inicial do trabalho é estudar a problemática da auto-localização na robótica, identificando diferentes soluções em diversos contextos. Afirmando isso, foi possível realizar uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de identificar diferentes linhas de pesquisa nesta área. Após uma análise superficial de cada linha de pesquisa, foi selecionada a linha de pesquisa que adota, como solução para a auto-localização, a utilização da técnica de SLAM, o que pode ser considerado como o marco teórico do trabalho.

Com a identificação do marco teórico do trabalho, a definição do foco da pesquisa se torna uma tarefa menos árdua. Como o marco teórico deste trabalho se baseia nas linhas de pesquisa que buscam utilizar a técnica de SLAM para realizar navegação autônoma, esta revisão sistemática teve como objetivo identificar diferentes técnicas utilizadas atualmente para solucionar o problema de SLAM em diferentes contextos, desde contextos simplificados até contextos altamente complexos.

A definição deste objetivo da revisão se dá pela necessidade de conhecimento amplo em relação a diferentes técnicas para solucionar o problema de SLAM. Como este trabalho buscará adaptar técnicas para um contexto simplificado, ou educacional, adicionou-se aos objetivos da revisão itens relacionados a robótica educacional e robôs simples.

Segundo [Kitchenham et al. 2006], o primeiro passo para se realizar uma revisão sistemática é definir a sua questão de pesquisa. Desse modo, a partir da realização de uma pesquisa bibliográfica inicial, foram identificadas as seguintes questões de pesquisa:

- **Q1.** *Quais técnicas são mais utilizadas para solucionar o problema de SLAM?* e
- **Q2.** *"Como tratar o problema de SLAM no contexto simplificado da robótica educacional?"*

Além das questões de pesquisa, de acordo com [Brito et al. 2015], alguns outros itens devem ser destacados, como:

- **População:** comunidade acadêmica e de robótica.
- **Intervenção:** adaptação de técnicas para um contexto de robótica simplificado (educacional).
- **Controle:** utilização do *Quasi-gold standard*.
- **Resultados:** obtenção de técnicas adaptáveis ao contexto simplificado.
- **Aplicação:** servir de base para a implementação da segunda etapa deste trabalho de conclusão de curso, onde técnicas serão adaptadas buscando solucionar, de maneira simplificada, o problema de SLAM.

A partir da definição das questões de pesquisa e dos objetivos da revisão, buscou-se definir a estratégia de pesquisa, apresentada no tópico 6.1.1.2.

6.1.1.2 Estratégias de pesquisa

A estratégia de pesquisa adotada para esta revisão segue recomendações de diversos autores, como [Kitchenham et al. 2006] e [Biolchini et al. 2005], utilizando o conceito de *quasi-gold standard*.

Segundo [Zhang, Babar e Tell 2010], *gold standard* representa o conjunto completo de estudos primários referentes a uma questão de pesquisa, com máxima precisão e sensibilidade. Já o *quasi-gold standard*, representa um subconjunto do *gold standard*, o qual vai sendo evoluído ao longo dos ciclos de busca, com o objetivo de se aproximar do *gold standard*.

É utilizado para definir os valores de precisão e sensibilidade da busca, o que possibilita a avaliação da busca realizada, verificando a necessidade de refinamento da *string*, por exemplo. [Zhang, Babar e Tell 2010] define precisão e sensibilidade da busca da seguinte forma:

- $precisão = \frac{ERO}{EO}$ e
- $sensibilidade = \frac{ERO}{TER}$,

onde ERO = número de estudos relevantes obtidos,

EO = número de estudos obtidos e

TER = número total de estudos relevantes.

Esta definição possibilita a criação de critérios que avaliem a qualidade da busca, ou seja, da *string* de busca utilizada. Porém, a seleção dos materiais deve seguir critérios relacionados a qualidade do material, os quais são divididos em *critério de inclusão (CI)* e *critério de exclusão (CE)*, como pode-se observar a seguir:

- CI 1 - Os artigos devem estar escritos em inglês ou português;
- CI 2 - Artigos referentes a auto-localização e mapeamento de ambientes simultâneos (SLAM);
- CI 3 - Artigos com acesso gratuito, disponíveis na *web* para *download* ou leitura;
- CE 1 - Artigos que buscam solucionar o problema de auto-localização sem a utilização da técnica de SLAM;
- CE 2 - Artigos que tratem o tema de forma superficial.

A partir da definição da questão de pesquisa e dos objetivos da revisão, assim como a definição dos critérios de inclusão e exclusão, foi possível desenvolver uma *string* de busca inicial. O idioma escolhido para a *string* de busca foi o inglês, devido a sua ampla utilização nas bases de conhecimento selecionadas. Buscou-se utilizar a mesma *string* de busca em todas as bases de dados pesquisadas, exceto em alguns casos em que houve a necessidade da adaptação da *string* de acordo com os padrões adotados pela base.

Com o objetivo de identificar pesquisas relacionadas à auto-localização utilizando mapeamento de ambientes simultaneamente, a *string* de busca definida foi: *auto-localization AND environment mapping*. Na tabela 4 são apresentados os resultados obtidos a partir desta busca.

Tabela 4 – Resultados obtidos com a *string* inicial

String	IEEE, Springer e CAPES	
	Nº. Artigos	Nº. Artigos relevantes
<i>Auto-localization AND environment mapping</i>	29	6

Esta primeira busca foi de extrema importância para se obter uma visão inicial da pesquisa, identificando novas palavras-chave e iniciando os ciclos de busca.

6.1.1.3 Procedimento de seleção

As buscas foram realizadas com a mesma *string* de busca (na maioria dos casos, como já foi explicado anteriormente) nas três bases de conhecimento científico utilizadas. A cada busca realizada, os artigos foram registrados, para que, posteriormente, os mesmos pudessem ser submetidos à avaliação da qualidade e, se comprovada a relevância do mesmo, à extração de dados.

A seleção dos artigos se deu a partir da leitura dos títulos, resumos e palavras-chave, classificando o artigo como relevante ou não, em um primeiro momento. Caso fosse confirmada a relevância do mesmo, o artigo passaria por uma avaliação mais profunda, a *avaliação da qualidade*, como mostra o tópico 6.1.1.4.

6.1.1.4 Avaliação da Qualidade

A avaliação da qualidade do artigo se deu a partir da análise do conteúdo do mesmo, focando principalmente na introdução, nos resultados e conclusões dos artigos. A avaliação positiva do artigo significa uma resposta positiva para as seguintes perguntas:

1. O estudo é interessante? (Em relação aos objetivos da pesquisa)
2. As evidências apresentadas são válidas?
3. As evidências apresentadas são importantes?

4. As evidências apresentadas não contradizem nenhum autor selecionado como pilar da pesquisa?

Com a confirmação da qualidade do material, o mesmo foi exposto à extração de dados, ou seja, a leitura completa e detalhada do artigo.

6.1.1.5 Extração de dados

Com o objetivo de organizar os dados obtidos, facilitando o manuseio das informações, os dados extraídos de cada artigo foram registrados a partir da utilização do padrão apresentado no exemplo da tabela 5, além do detalhamento mais aprofundado do material a partir da criação de um resumo informal do artigo.

Tabela 5 – Exemplo de registro de material

Título	Autor(es)	Data de publicação	Fonte da publicação	Listagem das informações importantes
<i>Integration of Vision based SLAM and Nonlinear Filter for Simple Mobile Robot Navigation</i>	Dae Hee Won, Young Jae Lee, Sangkyung Sung, Taesam Kang	2008	IEEE	-Utilização de sensor de visão e encoders. -Filtro de partículas

6.1.2 Condução da Revisão

Durante a condução da revisão, a busca efetiva dos materiais é realizada, os ciclos de busca são documentados e a *string* de busca é refinada, como afirma [Mafra e Travassos 2006].

Esta pesquisa foi realizada entre os meses de março e junho de 2016. A *string* de busca apresentada no tópico 6.1.1.2 resultou em uma visão considerada fraca, pelo pesquisador e seus orientadores, sobre a auto-localização e o mapeamento de ambientes, peças chave da técnica de SLAM. Além disso, essa busca possibilitou a criação do *quasi-gold standard* inicial, com apenas um artigo: *Auto-localização e construção de mapas de ambiente para robôs móveis baseados em visão omnidirecional estéreo* [Oliveira 2008].

Desse modo, foi necessária a realização de uma pesquisa manual para obter maior conhecimento sobre o tema e as palavras-chave a serem usadas para garantir maior qualidade dos resultados obtidos. Com a realização desta pesquisa, os seguintes artigos foram adicionados ao *quasi-gold standard*:

- *The Cleaning Robot Project: Aplicação do Filtro de Kalman na Auto-Localização de um Sistema Robótico Autônomo* [Pinto 2008],

- *Integration of Vision based SLAM and Nonlinear Filter for Simple Mobile Robot Navigation* [Won et al. 2008] e
- *A Solution to the Simultaneous Localization and Map Building (SLAM) Problem* [Dissanayake et al. 2001].

A partir da análise destes artigos iniciais, foi possível identificar diversas palavras-chave que levavam à pesquisa desejada, possibilitando refinamento da *string* de busca. Adicionando à mesma novos termos, como "*SLAM problem*" e "*simultaneous*", evoluindo a *string* e obtendo o seguinte resultado: "*simultaneous AND auto-localization AND environment mapping AND SLAM problem*".

O ciclo de busca utilizando esta *string* gerou poucos resultados, selecionando apenas um para análise: *Improved global localization of an indoor mobile robot via fuzzy extended information filtering* [Lin e Tsai 2008]. Com o objetivo ampliar abrangência da busca, optou-se por modificar a palavra-chave *auto-localization* por apenas *localization*, obtendo a seguinte *string* de busca: "*simultaneous AND localization AND environment mapping AND SLAM problem*".

Com a realização deste novo ciclo de busca, diversos artigos relevantes foram identificados e adicionados ao *quasi-gold standard*. Os artigos presentes no *quasi-gold* corrente foram encontrados com esta nova busca, evidenciando uma certa qualidade da *string* de busca. Os artigos adicionados ao *quasi-gold standard* durante este ciclo são:

- *A Simultaneous Localization and Mapping Algorithm in Complex Environments: SLASEM* [Sun et al. 2010],
- *A Neuro-Fuzzy Assisted Extended Kalman Filter-Based Approach for Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) Problems* [Chatterjee e Matsuno 2007],
- *Map Management for Efficient Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)* [Dissanayake et al. 2002] e
- *Simultaneous Localization and Map Building by Integrating a Cache of Features* [Costa, Dias e Araújo 2006].

Com o intuito de especificar mais a busca, foi adicionada, devido a uma dica do orientador prof. Dr. Maurício Serrano, a palavra-chave "*simple robots*" à *string* de busca, chegando a seguinte *string*: "*simultaneous AND localization AND environment mapping AND SLAM problem OR ("simple mobile robots"AND slam)*".

Com esta mudança, obteve-se uma outra visão desta pesquisa como um todo, foram identificadas diversas pesquisas que buscam solucionar problemas de locomoção, como o

problema de SLAM, em contextos limitados, da mesma forma que objetivo geral deste trabalho. Dessa forma, foram adicionados ao *quasi-gold standard*, os seguintes artigos:

- *BatSLAM: Simultaneous Localization and Mapping Using Biomimetic Sonar* [Steckel e Peremans, 2010]
- *Neural Network-Based Multiple Robot Simultaneous Localization and Mapping* [Saeedi et al. 2011]
- *Visual simultaneous localization and mapping: a survey* [Fuentes-Pacheco, Ruiz-Ascencio e Renzo, 2011]

Como é possível observar, os artigos selecionados para adição no *quasi-gold standard* não envolviam temas referentes a robôs simples, apesar da afirmação de que esta mudança havia modificado a visão da pesquisa. Artigos referentes a este tema não foram adicionados ao *quasi-gold standard* devido ao fato dos mesmos serem *barrados* pelo critério de exclusão "*CE 2 - Artigos que tratem o tema de forma superficial*".

Em contrapartida, este ciclo possibilitou o conhecimento de novos termos, viabilizando um refinamento eficiente para o próximo ciclo de busca.

No próximo ciclo de busca, foram adicionadas palavras-chave referentes a robótica educacional e estratégias de resolução do problema de SLAM, como mostra a *string*: "*(Simple mobile robot? AND (SLAM OR auto-localization)) AND (map* OR education* robot*) AND strateg**". Além de adicionar estes novos termos, utilizou-se de técnicas disponíveis nas bases, como a utilização de '?', que representa qualquer caractere, e '*', que significa que quaisquer caracteres precedidos dos caracteres anteriores ao '*' serão considerados.

Para realização desta busca, foi necessária a adaptação da *string* de busca durante a pesquisa na base de dados *Springer*, devido a diferenças nos padrões de definição da *string*. Para esta adaptação, novas palavras-chave precisaram ser selecionadas, as quais foram obtidas a partir dos resultados advindos das outras bases, com a mesma *string*.

A *string* adaptada para a base *Springer* foi: "*(Simple AND mobile AND robot AND SLAM AND localization AND mapping) AND (educational AND navigation AND simultaneous) AND strategies*".

Ao realizar esta busca, foi observado que os resultados atendiam, em sua maioria, ao desejado pela pesquisa, muitos artigos foram selecionados para análise e avaliação e alguns foram adicionados ao *quasi-gold standard*, como:

- *Incremental SLAM with Backtracking Data Association for Mobile Robots* [Ji et al. 2008],
- *Mapping and Pursuit-Evasion Strategies For a Simple Wall-Following Robot* [Katsev et al. 2011]

- *A Simple and Parallel Algorithm for Real-Time Robot Localization by Fusing Monocular Vision and Odometry/AHRS Sensors* [Wang, Liu e Li 2014].

Com a realização desta busca, foram obtidos 27 artigos, restando apenas 20 após a avaliação da relevância dos mesmos para a pesquisa. Desde o primeiro ciclo de busca, diversos artigos foram considerados relevantes para a pesquisa, chegando a um número de 42 (quarenta e dois) artigos relevantes.

Ou seja, aplicando os conceitos de *precisão* e *sensitividade*, temos que:

- $sensitividade = \frac{20}{42}$ e
- $precisao = \frac{20}{27}$

Desse modo, foi obtida uma *sensitividade* de 47% e uma *precisão* de 74%, dando fim aos ciclos de busca com 42 artigos selecionados e analisados. A tabela 6 apresenta, de maneira resumida, a evolução da *string* de busca, comparando a *string* inicial com a *string* final da pesquisa.

Tabela 6 – Comparação das *strings* inicial e final

String	Fonte de busca	Resultados		Observações
		Total	Relevantes	
Inicial	<i>IEEEExplore</i>	2	1	String construída sem o conhecimento necessário para utilização das palavras-chave que representam a pesquisa.
	<i>Springer</i>	19	2	
	<i>CAPES</i>	8	3	
Refinada	<i>IEEEExplore</i>	17	13	String refinada, ao longo de diversos ciclos de busca, adicionando novas palavras-chave e obtendo resultados mais específicos.
	<i>Springer</i>	6	3	
	<i>CAPES</i>	4	4	

Durante a realização de cada ciclo, os artigos foram analisados, avaliados e seus dados foram extraídos como fonte de estudo para a realização deste trabalho de conclusão de curso. Na seção 6.1.3 serão apresentados os resultados de maneira organizada e simplificada.

6.1.3 Publicação dos Resultados

A primeira etapa deste trabalho de conclusão de curso pode ser vista como o resultado geral desta revisão sistemática, onde conceitos, termos, abordagens e qualquer informação utilizada no trabalho é fruto, seja direta ou indiretamente, desta revisão sistemática.

Com o objetivo de documentar os resultados diretos desta revisão sistemática, estes foram registrados como as técnicas utilizadas atualmente para solucionar o problema de SLAM em diferentes contextos.

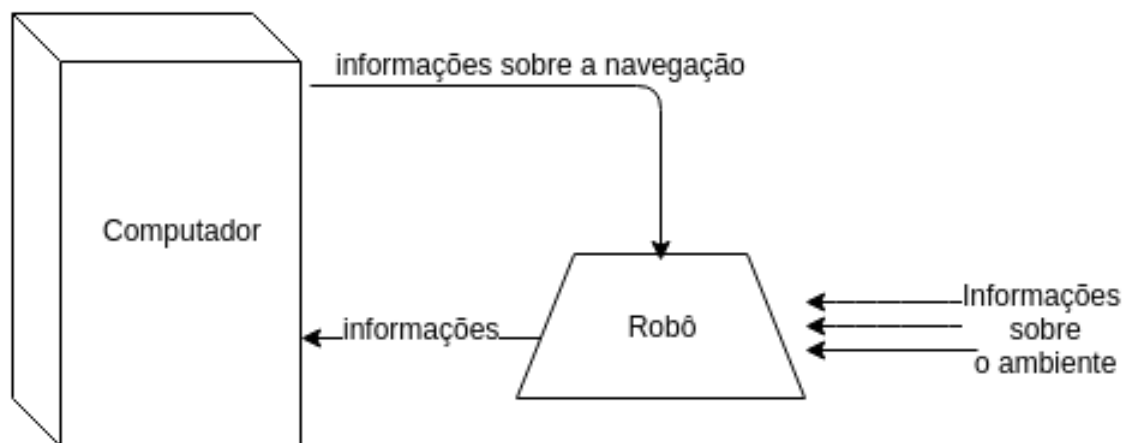
Com a realização desta revisão, foi possível identificar *áreas* mutáveis nas diferentes soluções do problema de SLAM. As áreas identificadas são "*arquitetura da solução*" 6.1.3.1, "*técnica probabilística utilizada*" 6.1.3.2 e "*informações disponíveis*" 6.1.3.3. Em cada solução, os autores buscaram se adequar ao contexto trabalhado, seja a partir da disponibilidade de sensores específicos ou da capacidade computacional disponível.

Como uma forma de organizar os resultados obtidos, os mesmos serão sub-divididos nas áreas citadas acima, apresentando conceitos, vantagens e desvantagens da utilização de cada técnica.

6.1.3.1 Arquitetura da solução

A arquitetura da solução, na grande maioria dos estudos, foi definida a partir do requisito computacional. Ou seja, a limitação computacional presente nos robôs simples levou os autores a buscarem arquiteturas que contornassem esse problema, como mostra [Lindhorst, Lukas e Nett 2013]. Entre as diversas arquiteturas, as mais comumente utilizadas são as que buscam processar as informações em um computador, utilizando o robô apenas para obtenção das informações, como ilustra a figura 11.

Figura 11 – Arquitetura de comunicação



De acordo com a figura 11, o robô será responsável apenas por obter informações do ambiente, ou seja, recuperar os dados obtidos a partir dos sensores disponíveis. O computador, em posse das informações sobre o ambiente, ou seja, os pontos de referência, a quantidade de rotações em cada roda, a distância e cores de objetos, por exemplo, será responsável por processar toda a informação, construindo um mapa lógico para possibilitar a localização do robô em relação ao ambiente, como apresenta [Lindhorst, Lukas e Nett 2013].

Geralmente, são utilizados dois mapas simultâneos, um presente no robô (local) e outro, mais completo, presente no computador (remoto). O mapa local é, basicamente, um vetor de pontos ' p ' em relação a um tempo ' t ', como explica [Adams, Mullane e Vo 2013]. O computador utiliza este mapa local, que é disponibilizado pelo robô, para completar, corrigir e atualizar o mapa remoto, mesclando informações e utilizando, geralmente, filtros probabilísticos para maximizar sua precisão [Oliveira 2008].

As decisões referentes à navegação são geradas a partir da análise do mapa remoto, já que o mapa local é incompleto e inconsistente, como afirma [Lindhorst, Lukas e Nett 2013]. A utilização desta arquitetura de mapeamento remoto e local torna prática a realização de navegações com múltiplos robôs, como apresenta, [Lindhorst, Lukas e Nett 2013], em seu trabalho sobre rede de comunicação sem fio para navegação de múltiplos robôs.

Seguindo esta arquitetura, [Saeedi et al. 2011] e [Wang, Huang e Dissanayake 2007] também desenvolveram sistemas de resolução do problema de SLAM com a utilização de múltiplos robôs, mostrando a viabilidade da sua utilização. Neste tipo de trabalho, os robôs colaboram entre si, pois, como a informação obtida é centralizada em um computador único, as decisões referentes à navegação de um determinado robô são resultados do processamento das informações obtidas por todos os robôs, maximizando a visão global de cada robô [Lindhorst, Lukas e Nett 2013].

De qualquer forma, independente da arquitetura da solução utilizada, os erros advindos dos sensores sempre serão um problema sério a ser resolvido [Adams, Mullane e Vo 2013]. Com o objetivo de solucionar este problema, a comunidade de robótica se vê presa à utilização de estruturas matemáticas probabilísticas, como afirma [Adams, Mullane e Vo 2013]. As seções 2.2.1, 2.2.2 e 6.1.3.2 apresentam as estruturas probabilísticas mais utilizadas atualmente, assim como suas vantagens e desvantagens.

6.1.3.2 Técnica probabilística utilizada

Para a realização de uma navegação específica, primeiramente, o robô deverá obter informações sobre o ambiente [Romano 2002]. Para isso, é necessária a utilização de sensores que captem estas informações, a partir de odometria, infra-vermelho ou vídeo, entre outros. Entretanto, estes sensores são munidos de uma margem de erro que, muitas vezes, prejudica a navegação e a auto-localização como um todo [Costa e Okamoto Jr. 2002]. De acordo com [Adams, Mullane e Vo 2013]:

Devido a natureza imperfeita dos sensores, a falta da previsibilidade em ambientes reais e a necessidade de aproximações para alcançar decisões computacionais, a robótica é uma ciência que depende de algoritmos probabilísticos.

Desse modo, a comunidade de robótica vem buscando, na matemática, soluções probabilísticas que minimizem esta margem de erro, como afirma [Fuentes-Pacheco, Ruiz-Ascencio e P Entre as soluções mais utilizadas, se encontram, no topo da lista, os filtros de *Kalman* e *partículas*, como pode ser observado nas seções 2.2.1 e 2.2.2, respectivamente.

Alguns autores, como, por exemplo, [Neto 2015], vêm estudando as duas técnicas e comparando-as com o intuito de selecionar a *melhor* técnica. Entretanto, o termo "*melhor*" é relativo, neste caso, a depender do contexto em que será aplicado o filtro probabilístico, como afirma [Neto 2015].

O estudo de [Neto 2015] exemplifica com clareza as comparações entre os filtros de partícula e de Kalman, ao utilizar as duas técnicas para solucionar o problema de SLAM com um robô móvel munido de sensores a laser. De acordo com a relatividade do termo *melhor*, nesta ocasião, o autor buscou apresentar apenas algumas vantagens e desvantagens dos dois filtros. As quais podem ser visualizadas nas seções 2.2.1 e 2.2.2.

6.1.3.3 Informações disponíveis

Na robótica móvel, existem diversas maneiras de se obter informações sobre o ambiente, a partir da utilização de sensores específicos para informações específicas. Entre os sensores mais utilizados, se encontram os *sonares*, *sensores de infra-vermelho*, *câmeras de vídeo*, *sensores de distância*, *sensores RGB* e *sensores odométricos*. A partir do ambiente em que se deseja navegar, faz-se necessária a seleção dos sensores adequados para o contexto.

Porém, como foi explicado no tópico 6.1.3.2, os sensores possuem margens de erro que muitas vezes podem prejudicar a navegação. Em busca de tentar solucionar este problema, além da utilização de filtros probabilísticos, diversos autores utilizaram múltiplos sensores, integrando as informações dos mesmos para que cada sensor colaborasse na calibração do outro sensor.

6.2 Desenvolvimento prático

Apresentar detalhes sobre a utilização de ferramentas, conhecimentos obtidos com a prova de conceito, problemas encontrados, soluções e etc.

6.3 Ações futuras

Durante a segunda etapa do trabalho, pretende-se evoluir a prova de conceito apresentada durante esta primeira etapa, buscando solucionar, de maneira simplificada, o problema de SLAM. A partir dos ciclos de desenvolvimento, serão realizadas análises refe-

rentes às peculiaridades encontradas ao implementar uma técnica de auto-localização em robôs simples, assim como o impacto desta implementação em um contexto educacional.

Referências

ADAMS, M.; MULLANE, J.; VO, B.-N. Circumventing the feature association problem in slam. *IEEE Intelligent transportation systems magazine*, 2013. Citado 3 vezes nas páginas 31, 63 e 64.

BECKER, F. O que é construtivismo? Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. Citado na página 35.

BENITTI, F. B. V. et al. Experimentação com robótica educativa no ensino médio: ambiente, atividades e resultados. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 34.

BIOLCHINI, J. et al. Systematic review in software engineering. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. Citado na página 56.

BRITO, M. F. de et al. Knowledge transfer in outsourcing software development projects. 12th international conference on information systems and technology management, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 55 e 56.

BUKHORI, .; ISMAIL, Z. H.; NAMERIKAWA, T. Detection strategy for kidnapped robot problem in landmark-based map monte carlo localization. *IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors*, 2015. Citado na página 31.

CHATTERJEE, A.; MATSUNO, F. A neuro-fuzzy assisted extended kalman filter-based approach for simultaneous localization and mapping (slam) problems. *IEEE transactions on fuzzy systems*, 2007. Citado na página 60.

CHEW, M. et al. Simple mobile robots for introduction into engineering. *International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 36.

CHEW, M. T. et al. Simple mobile robots for introduction into engineering. *International Instrumentation and Measurement*, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 35.

COSTA, A. H. R.; Okamoto Jr., J. *Robótica Industrial - Interação de Robô no Ambiente*. [S.l.]: Edgard Blücher Ltda, 2002. ISBN 8521203152. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 64.

COSTA, J.; DIAS, F.; ARAÚJO, R. Simultaneous localization and map building by integrating a cache of features. University of Coimbra, Portugal, 2006. Citado na página 60.

COSTA, T. C. A. Uma abordagem construcionista da utilização dos computadores na educação. Universidade Federal de Pernambuco, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 34.

DISSANAYAKE, G. et al. A solution to the simultaneous localization and map building (slam) problem. The University of Sydney, Australia, 2001. Citado 4 vezes nas páginas 25, 31, 32 e 60.

- DISSANAYAKE, G. et al. Map management for efficient simultaneous localization and mapping (slam). University of Sydney, Sydney, NSW 2006, Australia, 2002. Citado na página 60.
- FARROKHSIAR, M.; KRYS, D.; NAJJARAN, H. A teaching tool for the state-of-the-art probabilistic methods used in localization of mobile robots. Okanagan School of Engineering, University of British Columbia, Kelowna, B. C., Canada, 2010. Citado na página 29.
- FUENTES-PACHECO, J.; RUIZ-ASCENCIO, J.; RENDÓN-MANCHA, J. M. Visual simultaneous localization and mapping: a survey. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Cuernavaca, Morelos, México, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 61 e 64.
- GALVAN, S. et al. Innovative robotics teaching using lego sets. University of Verona, Italy, 2006. Citado 5 vezes nas páginas 25, 29, 33, 34 e 36.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. Metodos de pesquisa. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 47 e 48.
- GUIZILINI, V. C. et al. Implementação do dp-slam em tempo real para robôs móveis usando sensores. Universidade Estadual de Campinas, 2004. Citado na página 33.
- HÁMORI Ákos; LENGYEL, J.; RESKÓ, B. 3dof drawing robot using lego-nxt. Óbuda University, Hungary, 2011. Citado na página 25.
- JI, X. et al. Incremental slam with backtracking data association for mobile robots. International Conference on Information and Automation. Zhangjiajie, China, 2008. Citado na página 61.
- KATSEV, M. et al. Mapping and pursuit-evasion strategies for a simple wall-following robot. IEEE Transactions on robotics, vol. 27, no. 1, february 2011, 2011. Citado na página 61.
- KITCHENHAM, B. A. et al. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. Keele University, Staffordshire ST5 5BG, UK, 2006. Citado 5 vezes nas páginas 13, 52, 53, 55 e 56.
- LAU, N. et al. Ciber-rato: Uma competição robótica num ambiente virtual. 2002. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 36.
- LIN, H.-H.; TSAI, C.-C. Improved global localization of an indoor mobile robot via fuzzy extended information filtering. *Robotica*, v. 26, p. 241–254, 3 2008. ISSN 1469-8668. Disponível em: <http://journals-cambridge-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/article_S0263574707003876>. Citado na página 60.
- LINDHORST, T.; LUKAS, G.; NETT, E. Wireless mesh network infrastructure for industrial applications – a case study of tele-operated mobile robots. University of Magdeburg, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 63 e 64.
- MACHADO, K. F. Módulo de auto-localização para um agente exploratório usando filtro de kalman. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Informática, 2003. Citado 3 vezes nas páginas 29, 30 e 32.

- MAFRA, S. N.; TRAVASSOS, G. H. Estudos primários e secundários apoiando a busca por evidência em engenharia de software. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006. Citado na página 59.
- MAIMONE, M.; CHENG, Y.; MATTHIES, L. Two years of visual odometry on the mars exploration rovers. *Journal of Field Robotics*, Wiley Online Library, v. 24, n. 3, p. 169–186, 2007. Citado na página 29.
- MAJDIK, A. et al. New approach in solving the kidnapped robot problem. Technical University of Cluj-Napoca, Romania, 2010. Citado na página 31.
- MALIUK, K. D. Robótica educacional como cenário investigativo nas aulas de matemática. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 35.
- MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. *Métodos Científicos*. [S.l.]: Editora Atlas, 2003. ISBN 8522433976. Citado na página 49.
- MARTINS, J. M. F. Melhoramento do desempenho do robot de serviço de limpeza. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008. Citado na página 29.
- MOONEY, C. Z. *Monte carlo simulation*. [S.l.]: Sage Publications, 1997. Citado na página 32.
- MORAES, T. M.; SOUZA, A. S. de. Revisão sistemática sobre a comunicação dentro do processo de desenvolvimento de software. Universidade Federal de Goiás - GO, 2011. Citado na página 52.
- MORESI, E. Metodologia da pesquisa. Universidade Católica de Brasília - DF, 2003. Citado na página 48.
- NETO, A. M. M. da S. Comparação entre o filtro de kalman e filtro de partículas aplicados na robótica móvel. Universidade Estadual de Campinas, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 32, 33 e 64.
- NUNES, S. da C.; SANTOS, R. P. dos. O construcionismo de papert na criação de um objeto de aprendizagem e sua avaliação segundo a taxionomia de bloom. IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2013. Citado 3 vezes nas páginas 33, 34 e 35.
- OLIVEIRA, M. F. de. Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em administração. Universidade Federal de Goiás, Catalão GO, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 47 e 48.
- OLIVEIRA, P. R. G. D. Auto-localização e construção de mapas de ambiente para robôs móveis baseados em visão omnidirecional estéreo. São Paulo, Brasil, 2008. Citado 5 vezes nas páginas 23, 25, 30, 59 e 63.
- PAULA, L. C. M. de et al. Aplicação de processamento paralelo em método iterativo para solução de sistemas lineares. X Encontro Anual de Computação - EnAComp, 2013. Citado na página 25.

- PINTO, F. P. V. F. The cleaning robot project aplicação do filtro de kalman na auto-localização de um sistema robótico autônomo. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008. Citado 5 vezes nas páginas 29, 30, 31, 32 e 59.
- QUARTIERO, E. M. Da máquina de ensinar à máquina de aprender: pesquisas em tecnologia educacional. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 34.
- RAMALHO, C. B. Máquina de raciocínio lógico para tomada de decisões estratégicas em robótica educacional. 2015. Citado na página 26.
- RINCON, R. L. Traveller: Um framework de definição de trajetórias para robôs móveis. 2015. Citado na página 26.
- ROMANO, V. F. *Introdução à Robótica Industrial*. [S.l.]: Edgard Blücher Ltda, 2002. ISBN 8521203152. Citado 3 vezes nas páginas 23, 29 e 64.
- SAEEDI, S. et al. Neural network-based multiple robot simultaneous localization and mapping. Ieee Transactions on Neural Networks, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 60 e 64.
- SANTOS, F. M.; SILVA, V. F.; ALMEIDA, L. Auto-localização em pequenos robôs móveis e autônomos: O caso do robô bulldozer iv. 2002. Citado 5 vezes nas páginas 23, 24, 25, 26 e 30.
- SEIFZADEH, S.; WU, D.; WANG, Y. Cost-effective active localization technique for mobile robots. International Conference on Robotics and Biomimetics, 2009. Citado na página 33.
- SERRANO, M.; SERRANO, M. Análise de ferramentas para o ensino de computação na educação básica. Universidade de Brasília (UnB/FGA), 2014. Citado na página 35.
- SILVA, E. G. da et al. Análise de ferramentas para o ensino de computação na educação básica. XXXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, 2014. Citado 4 vezes nas páginas 34, 35, 36 e 43.
- STECKEL, J.; PEREMANS, H. Batslam: Simultaneous localization and mapping using biomimetic sonar. University of Antwerp, Antwerp, Belgium, 2013. Citado na página 60.
- SUN, R. et al. A simultaneous localization and mapping algorithm in complex environments: Slasem. Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, P. R. China, 2010. Citado na página 60.
- WAHAB1, A. F. A.; AZAHARI2, M. H.; TAJUDDIN1, R. M. An evaluation of robotic education scale in enhancing science achievement. Universiti Teknologi MARA, 2015. Citado na página 25.
- WANG, K.; LIU, Y.-H.; LI, L. A simple and parallel algorithm for real-time robot localization by fusing monocular vision and odometry/ahrs sensors. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 19, no. 4, august 2014, 2014. Citado na página 61.
- WANG, Z.; HUANG, S.; DISSANAYAKE, G. Multi-robot simultaneous localization and mapping using d-slam framework. Faculty of Engineering, University of Technology, Sydney, Australia, 2007. Citado na página 64.

WON, D. H. et al. Integration of vision based slam and nonlinear filter for simple mobile robot navigation. Konkuk University Seoul, Korea, 2008. Citado 4 vezes nas páginas 30, 31, 32 e 59.

ZHANG, H.; BABAR, M. A.; TELL, P. Identifying relevant studies in software engineering. National ICT Australia, University of New South Wales, Australia, 2010. Citado na página 57.

ZHAO, S. et al. Research on robotic education based on lego bricks. School of Information Science and Engineering, Northeastern University, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 33.