

TURNO:	<b>NOTURNO</b>	VERSÃO:	2	ANO / SEMESTRE:	2010.2	Nº	
--------	----------------	---------	---	-----------------	--------	----	--

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO  
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO — BACHARELADO  
COORDENAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

### **PROPOSTA PARA O TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**TÍTULO:** NAVEGAÇÃO EXPLORATÓRIA E MAPEAMENTO EM UM SISTEMA MULTIAGENTE ROBÓTICO

**ÁREA:** Sistemas Multiagente

**Palavras-chave:** Robótica. Inteligência artificial. Navegação exploratória.

## **1 IDENTIFICAÇÃO**

### **1.1 ALUNO**

Nome: <b>João Paulo Gonçalves</b>		Código/matricula: <b>47541</b>	
Endereço residencial:			
Rua: <b>José Deeke</b>		nº: <b>1502</b>	Complemento: <b>Fundos</b>
Bairro: <b>Asilo</b>	CEP: <b>89031-401</b>	Cidade: <b>Blumenau</b>	UF: <b>SC</b>
Telefone fixo: <b>(47) 3323-4282</b>		Celular: <b>(47) 8803-4063</b>	
Endereço comercial:			
Empresa: <b>Senior Sistemas S/A</b>			
Rua: <b>Luiz Sachtleben</b>		nº: <b>115</b>	Bairro: <b>Itoupava Seca</b>
CEP: <b>89012-530</b>	Cidade: <b>Blumenau</b>	UF: <b>SC</b>	Telefone: <b>(47) 3221-3300</b>
E-Mail FURB: <b>jpgoncalves@furb.br</b>		E-Mail alternativo: <b>byjoapaulo@gmail.com</b>	

### **1.2 ORIENTADOR**

Nome: <b>Fernando dos Santos</b>	
E-Mail FURB: <b>fds@furb.br</b>	E-Mail alternativo: <b>fds@gmail.com</b>

## **2 DECLARAÇÕES**

### **2.1 DECLARAÇÃO DO ALUNO**

Declaro que estou ciente do Regulamento do Trabalho de Conclusão de Curso de Ciência da Computação e que a proposta em anexo, a qual concordo, foi por mim rubricada em todas as páginas. Ainda me comprometo pela obtenção de quaisquer recursos necessários para o desenvolvimento do trabalho, caso esses recursos não sejam disponibilizados pela Universidade Regional de Blumenau (FURB).

Assinatura: \_\_\_\_\_ Local/data: \_\_\_\_\_

### **2.2 DECLARAÇÃO DO ORIENTADOR**

Declaro que estou ciente do Regulamento do Trabalho de Conclusão do Curso de Ciência da Computação e que a proposta em anexo, a qual concordo, foi por mim rubricada em todas as páginas. Ainda me comprometo a orientar o aluno da melhor forma possível de acordo com o plano de trabalho explícito nessa proposta.

Assinatura: \_\_\_\_\_ Local/data: \_\_\_\_\_

### 3 AVALIAÇÃO DA PROPOSTA

#### 3.1 AVALIAÇÃO DO(A) ORIENTADOR(A)

Acadêmico(a): João Paulo Gonçalves

Orientador(a): Fernando dos Santos

ASPECTOS AVALIADOS		atende	atende parcialmente	não atende
ASPECTOS TÉCNICOS	1. INTRODUÇÃO 1.1. O tema de pesquisa está devidamente contextualizado/delimitado?			
	1.2. O problema está claramente formulado?			
	2. OBJETIVOS 2.1. O objetivo geral está claramente definido e é passível de ser alcançado?			
	2.2. São apresentados objetivos específicos (opcionais) coerentes com o objetivo geral? Caso não sejam apresentados objetivos específicos, deixe esse item em branco.			
	3. RELEVÂNCIA 3.1. A proposta apresenta um grau de relevância em computação que justifique o desenvolvimento do TCC?			
	4. METODOLOGIA 4.1. Foram relacionadas todas as etapas necessárias para o desenvolvimento do TCC?			
	4.2. Os métodos e recursos estão devidamente descritos e são compatíveis com a metodologia proposta?			
	4.3. A proposta apresenta um cronograma físico (período de realização das etapas) de maneira a permitir a execução do TCC no prazo disponível?			
	5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5.1. As informações apresentadas são suficientes e têm relação com o tema do TCC?			
	5.2. São apresentados trabalhos correlatos, bem como comentadas as principais características dos mesmos?			
	6. REQUISITOS DO SISTEMA A SER DESENVOLVIDO 6.1. Os requisitos funcionais e não funcionais do sistema a ser desenvolvido foram claramente descritos?			
	7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 7.1. As considerações finais relacionam os assuntos apresentados na revisão bibliográfica com a realização do TCC?			
ASPECTOS METODOLÓGICOS	8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 8.1. As referências bibliográficas obedecem às normas da ABNT?			
	8.2. As referências bibliográficas contemplam adequadamente os assuntos abordados na proposta (são usadas obras atualizadas e/ou as mais importantes da área)?			
	9. CITAÇÕES 9.1. As citações obedecem às normas da ABNT?			
	9.2. As informações retiradas de outros autores estão devidamente citadas?			
	10. AVALIAÇÃO GERAL (organização e apresentação gráfica, linguagem usada) 10.1. O texto obedece ao formato estabelecido?			
	10.2. A exposição do assunto é ordenada (as idéias estão bem encadeadas e a linguagem utilizada é clara)?			
<p>A proposta de TCC deverá ser revisada, isto é, necessita de complementação, se:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>qualquer um dos itens tiver resposta NÃO ATENDE;</li> <li>pelo menos <b>4 (quatro)</b> itens dos <b>ASPECTOS TÉCNICOS</b> tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE; ou</li> <li>pelo menos <b>4 (quatro)</b> itens dos <b>ASPECTOS METODOLÓGICOS</b> tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE.</li> </ul> <p><b>PARECER:</b> ( ) APROVADA ( ) NECESSITA DE COMPLEMENTAÇÃO</p>				

Assinatura do(a) avaliador(a):

Local/data:

## CONSIDERAÇÕES DO(A) ORIENTADOR(A):

Caso o(a) orientador(a) tenha assinalado em sua avaliação algum item como “atende parcialmente”, devem ser relatos os problemas/melhorias a serem efetuadas.

Na segunda versão, caso as alterações sugeridas pelos avaliadores não sejam efetuadas, deve-se incluir uma justificativa.

*Optamos por utilizar o termo Multiagente (sem o “s”, e com o “a” minúsculo) para manter a coerência com a expressão inglesa utilizada em livros: Multiagent Sytems. Ademais, renomados grupos de pesquisa nacionais em sistemas multiagente adotam este termo, como é o caso do grupo MASLAB da UFRGS.*

*A redação dos objetivos foi adequada para atender as sugestões dos avaliadores. O objetivo geral foi generalizado, com o detalhamento sendo apresentado nos objetivos específicos.*

*O termo “NXT”, presente na revisão bibliográfica sobre LEGO Mindstorms, não é uma sigla, e sim um nome definido pela LEGO, conforme pode ser consultado na página do fabricante (<http://mindstorms.lego.com/en-us/whatisnxt/default.aspx>). Portanto, solicito desconsiderar qualquer correção apontada no sentido de escrever por extenso, visto que não se trata de uma sigla.*

6

Assinatura do(a) avaliador(a): \_\_\_\_\_

Local/data: \_\_\_\_\_

### 3.2 AVALIAÇÃO DO(A) COORDENADOR DE TCC

Acadêmico(a): João Paulo Gonçalves

Avaliador(a): José Roque Voltolini da Silva

ASPECTOS AVALIADOS		atende	atende parcialmente	não atende
ASPECTOS TÉCNICOS	1. INTRODUÇÃO 1.1. O tema de pesquisa está devidamente contextualizado/delimitado?			
	1.2. O problema está claramente formulado?			
	2. OBJETIVOS 2.1. O objetivo geral está claramente definido e é passível de ser alcançado?			
	2.2. São apresentados objetivos específicos (opcionais) coerentes com o objetivo geral? Caso não sejam apresentados objetivos específicos, deixe esse item em branco.			
	3. RELEVÂNCIA 3.1. A proposta apresenta um grau de relevância em computação que justifique o desenvolvimento do TCC?			
	4. METODOLOGIA 4.1. Foram relacionadas todas as etapas necessárias para o desenvolvimento do TCC?			
	4.2. Os métodos e recursos estão devidamente descritos e são compatíveis com a metodologia proposta?			
	4.3. A proposta apresenta um cronograma físico (período de realização das etapas) de maneira a permitir a execução do TCC no prazo disponível?			
	5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5.1. As informações apresentadas são suficientes e têm relação com o tema do TCC?			
	5.2. São apresentados trabalhos correlatos, bem como comentadas as principais características dos mesmos?			
	6. REQUISITOS DO SISTEMA A SER DESENVOLVIDO 6.1. Os requisitos funcionais e não funcionais do sistema a ser desenvolvido foram claramente descritos?			
	7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 7.1. As considerações finais relacionam os assuntos apresentados na revisão bibliográfica com a realização do TCC?			
ASPECTOS METODOLÓGICOS	8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 8.1. As referências bibliográficas obedecem às normas da ABNT?			
	8.2. As referências bibliográficas contemplam adequadamente os assuntos abordados na proposta (são usadas obras atualizadas e/ou as mais importantes da área)?			
	9. CITAÇÕES 9.1. As citações obedecem às normas da ABNT?			
	9.2. As informações retiradas de outros autores estão devidamente citadas?			
	10. AVALIAÇÃO GERAL (organização e apresentação gráfica, linguagem usada) 10.1. O texto obedece ao formato estabelecido?			
	10.2. A exposição do assunto é ordenada (as idéias estão bem encadeadas e a linguagem utilizada é clara)?			
<p>A proposta de TCC deverá ser revisada, isto é, necessita de complementação, se:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>qualquer um dos itens tiver resposta NÃO ATENDE;</li> <li>pelo menos 4 (quatro) itens dos <b>ASPECTOS TÉCNICOS</b> tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE; ou</li> <li>pelo menos 4 (quatro) itens dos <b>ASPECTOS METODOLÓGICOS</b> tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE.</li> </ul> <p><b>PARECER:</b> ( ) APROVADA ( ) NECESSITA DE COMPLEMENTAÇÃO</p>				

OBSERVAÇÕES:

Assinatura do(a) avaliador(a):

Local/data:

### 3.3 AVALIAÇÃO DO(A) PROFESSOR(A) DA DISCIPLINA DE TCCI

Acadêmico(a): João Paulo Gonçalves

Avaliador(a): Joyce Martins

ASPECTOS AVALIADOS		atende	atende parcialmente	não atende
ASPECTOS TÉCNICOS	1. INTRODUÇÃO 1.1. O tema de pesquisa está devidamente contextualizado/delimitado?			
	1.2. O problema está claramente formulado?			
	2. OBJETIVOS 2.1. O objetivo geral está claramente definido e é passível de ser alcançado?			
	2.2. São apresentados objetivos específicos (opcionais) coerentes com o objetivo geral? Caso não sejam apresentados objetivos específicos, deixe esse item em branco.			
	3. RELEVÂNCIA 3.1. A proposta apresenta um grau de relevância em computação que justifique o desenvolvimento do TCC?			
	4. METODOLOGIA 4.1. Foram relacionadas todas as etapas necessárias para o desenvolvimento do TCC?			
	4.2. Os métodos e recursos estão devidamente descritos e são compatíveis com a metodologia proposta?			
	4.3. A proposta apresenta um cronograma físico (período de realização das etapas) de maneira a permitir a execução do TCC no prazo disponível?			
	5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5.1. As informações apresentadas são suficientes e têm relação com o tema do TCC?			
	5.2. São apresentados trabalhos correlatos, bem como comentadas as principais características dos mesmos?			
	6. REQUISITOS DO SISTEMA A SER DESENVOLVIDO 6.1. Os requisitos funcionais e não funcionais do sistema a ser desenvolvido foram claramente descritos?			
	7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 7.1. As considerações finais relacionam os assuntos apresentados na revisão bibliográfica com a realização do TCC?			
ASPECTOS METODOLÓGICOS	8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 8.1. As referências bibliográficas obedecem às normas da ABNT?			
	8.2. As referências bibliográficas contemplam adequadamente os assuntos abordados na proposta (são usadas obras atualizadas e/ou as mais importantes da área)?			
	9. CITAÇÕES 9.1. As citações obedecem às normas da ABNT?			
	9.2. As informações retiradas de outros autores estão devidamente citadas?			
	10. AVALIAÇÃO GERAL (organização e apresentação gráfica, linguagem usada) 10.1. O texto obedece ao formato estabelecido?			
	10.2. A exposição do assunto é ordenada (as idéias estão bem encadeadas e a linguagem utilizada é clara)?			
PONTUALIDADE NA ENTREGA			atraso de _____ dias	
<p>A proposta de TCC deverá ser revisada, isto é, necessita de complementação, se:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>qualquer um dos itens tiver resposta NÃO ATENDE;</li> <li>pelo menos 4 (quatro) itens dos <b>ASPECTOS TÉCNICOS</b> tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE; ou</li> <li>pelo menos 4 (quatro) itens dos <b>ASPECTOS METODOLÓGICOS</b> tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE.</li> </ul> <p><b>PARECER:</b> ( ) APROVADA ( ) NECESSITA DE COMPLEMENTAÇÃO</p>				

OBSERVAÇÕES:

Assinatura do(a) avaliador(a):

Local/data:

### 3.4 AVALIAÇÃO DO(A) PROFESSOR(A) ESPECIALISTA NA ÁREA

Acadêmico(a): João Paulo Gonçalves

Avaliador(a): Mauro Marcelo Mattos

ASPECTOS AVALIADOS		atende	atende parcialmente	não atende
ASPECTOS TÉCNICOS	1. INTRODUÇÃO 1.1. O tema de pesquisa está devidamente contextualizado/delimitado?			
	1.2. O problema está claramente formulado?			
	2. OBJETIVOS 2.1. O objetivo geral está claramente definido e é passível de ser alcançado?			
	2.2. São apresentados objetivos específicos (opcionais) coerentes com o objetivo geral? Caso não sejam apresentados objetivos específicos, deixe esse item em branco.			
	3. RELEVÂNCIA 3.1. A proposta apresenta um grau de relevância em computação que justifique o desenvolvimento do TCC?			
	4. METODOLOGIA 4.1. Foram relacionadas todas as etapas necessárias para o desenvolvimento do TCC?			
	4.2. Os métodos e recursos estão devidamente descritos e são compatíveis com a metodologia proposta?			
	4.3. A proposta apresenta um cronograma físico (período de realização das etapas) de maneira a permitir a execução do TCC no prazo disponível?			
	5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5.1. As informações apresentadas são suficientes e têm relação com o tema do TCC?			
	5.2. São apresentados trabalhos correlatos, bem como comentadas as principais características dos mesmos?			
	6. REQUISITOS DO SISTEMA A SER DESENVOLVIDO 6.1. Os requisitos funcionais e não funcionais do sistema a ser desenvolvido foram claramente descritos?			
	7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 7.1. As considerações finais relacionam os assuntos apresentados na revisão bibliográfica com a realização do TCC?			
ASPECTOS METODOLÓGICOS	8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 8.1. As referências bibliográficas obedecem às normas da ABNT?			
	8.2. As referências bibliográficas contemplam adequadamente os assuntos abordados na proposta (são usadas obras atualizadas e/ou as mais importantes da área)?			
	9. CITAÇÕES 9.1. As citações obedecem às normas da ABNT?			
	9.2. As informações retiradas de outros autores estão devidamente citadas?			
	10. AVALIAÇÃO GERAL (organização e apresentação gráfica, linguagem usada) 10.1. O texto obedece ao formato estabelecido?			
	10.2. A exposição do assunto é ordenada (as idéias estão bem encadeadas e a linguagem utilizada é clara)?			
<p>A proposta de TCC deverá ser revisada, isto é, necessita de complementação, se:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>qualquer um dos itens tiver resposta NÃO ATENDE;</li> <li>pelo menos 4 (quatro) itens dos <b>ASPECTOS TÉCNICOS</b> tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE; ou</li> <li>pelo menos 4 (quatro) itens dos <b>ASPECTOS METODOLÓGICOS</b> tiverem resposta ATENDE PARCIALMENTE.</li> </ul> <p><b>PARECER:</b> ( ) APROVADA ( ) NECESSITA DE COMPLEMENTAÇÃO</p>				

OBSERVAÇÕES:

Assinatura do(a) avaliador(a):

Local/data:

**UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS**  
**CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – BACHARELADO**

**NAVEGAÇÃO EXPLORATÓRIA E MAPEAMENTO EM UM**  
**SISTEMA MULTIAGENTE ROBÓTICO**

**JOÃO PAULO GONÇALVES**

**BLUMENAU**  
**2010**



**JOÃO PAULO GONÇALVES**

**NAVEGAÇÃO EXPLORATÓRIA E MAPEAMENTO EM UM  
SISTEMA MULTIAGENTE ROBÓTICO**

Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso  
submetida à Universidade Regional de  
Blumenau para a obtenção dos créditos na  
disciplina Trabalho de Conclusão de Curso I  
do curso de Ciência da Computação —  
Bacharelado.

Prof. Fernando dos Santos - Orientador

**BLUMENAU  
2010**

## 1 INTRODUÇÃO

A robótica evoluiu rapidamente nas últimas décadas, e desde o seu surgimento como braços robóticos, ela nunca esteve tão presente e acessível no mundo, quanto atualmente. Impulsionada pela miniaturização dos componentes eletrônicos, a robótica começa a concretizar os sonhos de escritores de ficção-científica. Hoje já existem veículos voadores capazes de decolar e pousar autonomamente em navios, assim como realizar ataques bélicos, pesquisas, reconhecimento, desarme de minas e bombas. Esse grande crescimento da robótica, fez com que surgissem novas demandas para a área de Inteligência Artificial (IA). Sem a IA não seriam possíveis muitas das missões realizadas no espaço. A tele-operação não é uma escolha na exploração do espaço quando o tempo de comunicação com o robô leva dezenas de minutos, ou simplesmente não é possível, como no lado não visível da Lua (MURPHY, 2000, p. 31).

Essa relação entre a robótica e a IA atualmente é uma via de mão dupla. Com a alta acessibilidade e o aumento computacional dos robôs foi possível a IA testar as abordagens que inicialmente ficavam confinadas em simulações. Isso permitiu a definição de estratégias melhores, que consideram a incerteza e os problemas que podem, e provavelmente irão, ocorrer no mundo real. Entre os muitos assuntos beneficiados com isso, está o de exploração e mapeamento de ambientes desconhecidos. Utilizando o exemplo anteriormente citado, um robô que desarme minas tem que ser capaz de uma vez iniciado o seu funcionamento, mapear a região onde está localizado, encontrando e desarmando as minas espalhadas pelo ambiente, tudo isso evitando obstáculos e no menor tempo possível.

Diante do exposto, este trabalho testará as abordagens sugeridas para a exploração e mapeamento de ambientes desconhecidos em uma implementação real, mas com um adicional, utilizando vários robôs. Usar múltiplos robôs traz ganhos em relação à utilização de somente um robô. Segundo Dudek et al. (1996, p. 375), vários robôs podem ser mais simples fisicamente que um maior e mais complexo robô, tornando o sistema mais econômico, escalável e menos suscetível a falhas globais. Para o controle destes robôs, será utilizada uma subárea de IA, denominada sistemas multiagente.

## 1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é realizar o mapeamento de ambientes desconhecidos com barreiras.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) disponibilizar robôs capazes de se movimentar e realizar o mapeamento do ambiente;
- b) disponibilizar um aplicativo para visualizar em um computador pessoal, o mapeamento realizado pelos robôs;
- c) disponibilizar a comunicação entre os robôs e o aplicativo de visualização do mapeamento.

## 1.2 RELEVÂNCIA DO TRABALHO

A navegação robótica é estudada desde os anos 60, mas somente a partir das duas últimas décadas é que os robôs tornaram-se mais acessíveis e com poder de computação razoável. Desta forma, muitas das técnicas foram desenvolvidas utilizando simuladores e adotando pressupostos que não correspondem ao comportamento dos robôs físicos, como por exemplo, a infalibilidade dos sensores (MURPHY, 2000, p. 320). O uso da comunicação entre os robôs, necessária para o sistema multiagente, também acarreta em problemas de erros de posição e latência na transmissão, o que normalmente não é considerado nas simulações em computadores (BALCH; ARKIN, 1998, p. 928-929). Há também a pouca utilização de vários robôs nas pesquisas, limitando-se a apenas dois ou três robôs. Logo a relevância deste trabalho está na proposta de realizar testes práticos de técnicas de exploração e mapeamento de ambientes.

A construção de um sistema multiagente que permite comunicação com computadores envolve numerosas áreas, como engenharia, IA, redes, sistemas embarcados e computação gráfica. A interação entre essas áreas, junto à complexidade inerente do sistema de comunicação entre os robôs, faz com que este trabalho tenha um grau elevado de complexidade referente a ciências da computação.

### 1.3 METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido observando as seguintes etapas:

- a) levantamento bibliográfico: realizar o levantamento da bibliografia sobre sistemas multiagente, robótica, navegação exploratória e LEGO Mindstorms;
- b) elicitação de requisitos: detalhar e reavaliar os requisitos, observando as necessidades levantadas durante a revisão bibliográfica;
- c) especificação do sistema multiagente: determinar as técnicas de sistemas multiagente a serem adotadas para a implementação, definindo o comportamento de cada agente e sua comunicação com os outros, bem como a comunicação do sistema como um todo com o computador pessoal. A especificação será baseada na análise orientada a objeto e especificada utilizando a *Unified Modeling Language* (UML), junto ao ambiente de desenvolvimento Eclipse, para construção dos diagramas de classe, de sequência e de estado. Serão consideradas as limitações da plataforma LEGO Mindstorms (LEGO GROUP, 2010a), pelo qual será realizada a construção dos robôs;
- d) implementação do sistema multiagente: implementar o sistema multiagente, utilizando-se das técnicas definidas na especificação. Será utilizado o ambiente de desenvolvimento Eclipse, com a linguagem de programação Java, utilizada na máquina virtual LeJOS NTX (LEJOS, 2010);
- e) especificação dos robôs: definir as características necessárias a respeito de sensores e movimentação para cada robô, e também o plano de construção dos robôs, afim de atender as necessidades do sistema multiagente. A especificação será realizada através de um diagrama de blocos, utilizando a ferramenta Lego Digital Designer (LEGO GROUP, 2010b);
- f) construção dos robôs: utilizar o plano de construção dos robôs para construir no mínimo três robôs, para validação e testes em campo do sistema multiagente. Os robôs serão construídos utilizando o *kit* LEGO Mindstorms;
- g) especificação do aplicativo gráfico: determinar as características necessárias do aplicativo que rodará no computador pessoal, que utilizando-se da comunicação com o sistema multiagente, apresentará o mapa da área explorada. A especificação será baseada na análise orientada a objeto e especificada utilizando a UML, junto ao ambiente de desenvolvimento Eclipse, para construção dos diagramas de

classes e de sequencia;

- h) implementação do aplicativo gráfico: implementar o aplicativo, utilizando a linguagem de programação Java e o ambiente de desenvolvimento Eclipse;
- i) testes dos robôs: verificar se os robôs atendem os requisitos propostos de movimentação, sensores, baterias, resistência e comunicação;
- j) testes do sistema multiagente: realizar testes do sistema multiagente, utilizando testes unitários, testes de problemas de comunicação entre robôs, testes de performance e escalabilidade;
- k) testes do aplicativo gráfico: realizar testes para determinar o correto funcionamento do aplicativo, verificando se o mesmo apresenta corretamente os dados obtidos pelo mapeamento do sistema multiagente;
- l) testes de integração: verificar se todos os componentes deste trabalho, listados por sistema multiagente, robôs e aplicativo gráfico, funcionam a contento quando executados em uma situação real.

As etapas serão realizadas nos períodos relacionados no Quadro 1.

etapas / quinzenas	2011									
	fev.		mar.		abr.		maio		jun.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
levantamento bibliográfico	■	■								
elicitação dos requisitos	■	■								
especificação do sistema multiagente		■	■							
implementação do sistema multiagente			■	■	■	■				
especificação dos robôs			■	■						
construção dos robôs			■	■						
especificação do aplicativo gráfico							■	■		
implementação do aplicativo gráfico							■	■		
testes dos robôs				■						
testes do sistema multiagente			■	■	■	■				
testes do aplicativo gráfico							■	■		
testes de integração					■	■	■	■	■	

Quadro 1 - Cronograma

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Primeiramente é explanado sobre as técnicas que esse trabalho utilizará para exploração, que seriam os agentes inteligentes e a robótica. Após isso, descreve-se sobre a exploração e o mapeamento em si e a ferramenta que será utilizada para construção dos robôs. Por fim, são listados alguns dos trabalhos já existentes que descrevem abordagens para resolução do problema.

### 2.1 SISTEMAS MULTIAGENTE

Segundo Russel e Norvig (2004, p. 33), um agente é qualquer coisa que possa perceber o ambiente através de sensores e atuar neste ambiente através de atuadores. Por exemplo, tem-se o agente humano que utiliza olhos e ouvidos (sensores) para perceber o ambiente e mãos, braços e pernas (atuadores) para atuar nele. Há também o agente de software que recebe entradas de teclado, arquivos e pacotes da rede como percepção e atua no ambiente apresentando algo em uma tela, escrevendo arquivos, etc. Wooldridge (2000, p. 28-29) afirma que há consenso que um agente deve ser autônomo, definindo um agente como: “[...] um sistema de computador que é situado em algum ambiente, e é capaz de ações autônomas neste ambiente a fim de cumprir os seus objetivos”.

As propriedades do ambiente no qual o agente atuará também afetam na complexidade deste agente (WOOLDRIDGE, 2000, p. 30). Russel e Norvig (2004, p. 41-44) definem uma série de características para os ambientes, entre as quais: completamente observável *versus* parcialmente observável, onde se verifica a capacidade de percepção do agente em relação ao tempo; determinístico *versus* estocásticos, sendo determinístico o ambiente em que o próximo estado é definido unicamente em função do estado e ação atuais do agente; estático *versus* dinâmico, onde se o ambiente puder se alterar enquanto o agente está decidindo, então ele é dinâmico.

Um sistema multiagente é uma rede fracamente acoplada de agentes que trabalham juntos, interagindo, por exemplo, através de troca de mensagens, para resolver problemas que estão além da capacidade individual ou conhecimento de cada um dos agentes (JENNINGS; SYCARA; WOOLDRIDGE, 1998, p. 17). Os sistemas multiagente têm como características:

cada agente tem apenas informações incompletas sendo limitado por suas capacidades, o controle do sistema é distribuído, a informação é descentralizada e o processamento é assíncrono.

## 2.2 ROBÓTICA

Robótica é o estudo da construção de máquinas para substituir os seres humanos na execução de alguma tarefa, tanto fisicamente (ações), quanto intelectualmente (decisões). Para Russel e Norvig (2004, p. 870) “os robôs são os agentes físicos que executam tarefas manipulando o mundo físico”.

A maioria dos robôs não são inteligentes, podendo ser citado o caso do braço robótico utilizado em linhas de montagem. A ênfase deste tipo de robô está na repetição e precisão (MURPHY, 2000, p. 21). Um robô deste tipo não foi preparado para tratar de situações inesperadas.

De acordo com Murphy (2000, p. 3), um robô inteligente é uma criatura mecânica que funciona autonomamente. Isso vem de encontro com a definição de agente inteligente, tornando-se assim, o robô inteligente um exemplo de agente inteligente. Deste modo é possível construir um sistema multiagente robótico.

A utilização de robôs inteligentes deve-se a três motivos. O primeiro é quando a tarefa a ser realizada traz um grande risco para um humano, podendo ser citados a manipulação de objetos altamente radioativos ou tóxicos e a exploração espacial. O segundo motivo é quando o uso de humanos é economicamente ineficiente, como nas linhas de montagens. O último motivo é o quando o uso de humanos traz riscos desnecessários, como por exemplo, a limpeza de áreas minadas.

## 2.3 NAVEGAÇÃO EXPLORATÓRIA E MAPEAMENTO

Exploração é a descoberta de informações relevantes a partir do ambiente parcial ou completamente desconhecido (ZLOT et al., 2002, p. 3016). Bugard et al. (2000, p. 476) afirma que a exploração de um ambiente pertence aos problemas fundamentais dos robôs

móveis. A navegação busca direcionar o curso de um robô móvel quando ele se desloca em um ambiente (MCKERROW, 1995 apud SILVA JÚNIOR, 2003, p. 18). Logo a navegação exploratória busca definir a direção ou curso do robô visando minimizar o tempo necessário para completar a exploração do mapeamento (BURGARD et al., 2000, p. 476).

O mapeamento tem como objetivo a construção de um mapa, que é a representação do ambiente. Segundo Murphy (2000, p. 321) o mapa para o robô é chamado de memória espacial, e deve ser capaz de quatro funções: atenção, que é a capacidade de determinar qual é o próximo marco a ser percebido; raciocínio, a capacidade de determinar se o ambiente suporta o robô; planejamento de caminho, para descobrir quais os caminhos mais curtos; e por fim, coleta de informações, para determinar se o ambiente sofreu modificações. Silva Júnior (2003, p. 26) diz que “Um robô capaz de realizar o mapeamento de um ambiente desconhecido e se auto localizar a partir uma versão parcial do mapa é capaz de construir um mapa representativo e confiável de qualquer ambiente somente a partir de observações relativas ao ambiente”. Para realizar o mapeamento, os robôs móveis devem possuir a habilidade de explorá-lo eficazmente (BURGARD et al., 2000, p. 476). Um exemplo simples de abordagem da exploração de ambientes e seu respectivo mapeamento é a estratégia de seguir as paredes.

## 2.4 LEGO MINDSTORMS

LEGO Mindstorms é um *Robotics Invention System* (RIS), ou seja, conjunto para construção de robôs, fabricado pela LEGO Group. Encontra-se na terceira versão, nomeada LEGO Mindstorms NXT 2.0 (LEGO GROUP, 2010a).

Nesta versão, o conjunto é composto por 619 peças, incluindo três servo motores elétricos e quatro sensores. Os quatro sensores disponíveis são: um sensor de cor e luz, capaz de distinguir entre oito cores; dois sensores de toque e um sensor ultrassônico, para medição de distâncias e detecção de presença.

Como unidade de processamento, existe o bloco programável denominado NXT. Este bloco possui um processador Atmel 32-bit ARM<sup>1</sup>, rodando a 48 MHz, podendo acessar

---

<sup>1</sup> *Advanced RISC Machine* (ARM).



diretamente 64 KB<sup>2</sup> de RAM<sup>3</sup> e 256 KB de memória flash. Existem sete portas de comunicação, com quatro de entrada para os dados dos sensores e três de saída para comando dos motores. A comunicação entre os motores e sensores para com o bloco programável é feito através de cabos com conectores RJ12, semelhantes com os conectores utilizados em aparelhos telefônicos. Além dessas entradas, há uma entrada *Universal Serial Bus* (USB) 2.0, por onde se pode realizar a transferência de código e informações de um computador para o NXT. O NXT também possui comunicação através da tecnologia de redes pessoais sem fio *Bluetooth*, capaz de se comunicar com computadores ou outros dispositivos NXT. No bloco, é disponibilizado um pequeno *Liquid Crystal Display* (LCD) monocromático e 4 botões para manipulação. O conjunto todo é alimentado por seis pilhas AA, sendo possível utilizar baterias recarregáveis.

Junto ao *kit* de peças é também fornecido um software para programação do NXT, criado pela própria LEGO Group. Este software é adequado para programação básica e voltado basicamente para crianças ou iniciantes na programação. Entretanto, existem numerosas adaptações de variadas linguagens de programação para o NXT. Entre elas, tem-se a LeJOS NXJ (LEJOS, 2010), uma pequena máquina virtual Java. Além disso, a biblioteca do LeJOS fornece todas as classes necessárias para programação do NXT, incluindo-se as características da linguagem Java como por exemplo segmentos de execução, vetores multidimensionais, recursão, sincronização e exceções.

A Figura 1 apresenta o bloco programável NXT (centro da imagem), com os botões e tela LCD visíveis na parte superior, os motores conectados ao bloco (parte superior da imagem) e os sensores disponíveis, também conectados ao bloco (parte inferior da imagem).

---

<sup>2</sup> *Kilobyte*. Equivalente a 1024 bytes.

<sup>3</sup> *Random Access Memory*. Memória de acesso aleatório que permite a leitura e escrita, sendo utilizada como memória principal.



Fonte: LEGO Group (2010a).

Figura 1 - O bloco programável NXT conectado a todos os motores e sensores

## 2.5 TRABALHOS CORRELATOS

É possível encontrar vários trabalhos que tenham relação com a navegação exploratória. No âmbito nacional, pode-se citar a tese de navegação exploratória utilizando Problema de Valores de Contorno (PVC) de Silva Júnior (2003) e o artigo sobre a exploração de ambientes com multiagente nos jogos eletrônicos de Soares e Campos (2006). Internacionalmente, tem-se os artigos de Burgard et al. (2000), que descreve uma abordagem para robôs heterogêneos e o de Cohen (1996), que define a divisão do time de robôs de acordo com funções específicas.

### 2.5.1 Navegação exploratória baseada em PVC

Descreve uma abordagem para construção de um algoritmo de exploração que funcione também para planejamento de caminhos. Essa necessidade surgiu da tentativa de evitar o chaveamento entre duas estratégias, uma para descobrir o ambiente e montar o mapa, e outra para caminhar no mapa já construído (SILVA JÚNIOR, 2003, p. 16). Segundo Silva Júnior (2003, p. 17), “o objetivo desta tese consiste em desenvolver uma estratégia que integre

a capacidade exploratória e o planejamento de caminhos através de um princípio único: campos potenciais oriundos da solução de problemas de valores de contorno (PVC).”. A estratégia foi testada utilizando somente um robô.

Neste trabalho, o ambiente é representado por uma matriz bidimensional cujas células correspondem a posições específicas do ambiente e armazenam valores computados a partir das informações oriundas dos sensores. Os valores seriam, por exemplo, posição ocupada, livre ou não explorada. A cada uma dessas posições é definido um campo de força, sendo repulsivo para obstáculos e atrativo para as posições não exploradas. Estes campos de força são representados de forma conjunta por uma equação matemática. O PVC então é definido como sendo encontrar valores para a equação matemática que permitam contornar os obstáculos (que a equação representa).

O trabalho foi validado com experimentos utilizando um único robô NOMAD 200<sup>4</sup> em diversos ambientes, desde labirintos formados por paredes ortogonais até ambientes esparsos. A partir dos resultados obtidos, o autor conclui que a abordagem proposta foi robusta e eficiente, permitindo o robô explorar e mapear todas as regiões acessíveis do ambiente.

### 2.5.2 Multiagent exploration task in games through negotiation

O objetivo do trabalho é a exploração de ambientes desconhecidos em jogos eletrônicos, especialmente jogos de estratégia em tempo real. A exploração em jogos possui certas diferenças com a exploração de robôs. Algumas destas diferenças seriam, por exemplo, que os agentes de exploração podem ser removidos do jogo, com a unidade sendo morta ou destruída; e que os agentes devem evitar áreas inimigas, sendo que estas áreas são inicialmente desconhecidas.

No trabalho são implementadas e avaliadas quatro estratégias simples e uma baseada em negociação, em um simulador de exploração multiagente. As estratégias simples são basicamente funções que alteram o vetor de velocidade dos agentes, sendo elas: em linha reta, parábola, espiral e senoidal. A estratégia baseada em negociação, definidas por Soares e

---

<sup>4</sup> O NOMAD 200 é um robô comercial, voltado para pesquisas, fabricado pela Nomadic Technologies, Inc. Possui cinco sensores: infravermelho, ultrassom, visão, bússola e tátil. Construído em formato cilíndrico, possuindo uma base com 3 rodas alinhadas, permitindo mover o robô em qualquer direção. (SILVA JÚNIOR, 2003, p. 60)

Campos (2006), determina que cada agente defina um conjunto de posições alvos, planejadas para serem exploradas em sequência. Estas posições poderão ser negociadas com outro agente, caso mostre-se mais vantajoso para o outro agente. As rotas dos agentes são constantemente negociadas e, como consequência, o desempenho da exploração da área é melhorado.

Também são determinadas as métricas necessárias para avaliar as estratégias de solução do problema de exploração. Estas métricas seriam: a densidade da área explorada e a qualidade da exploração.

### 2.5.3 Collaborative multi-robot exploration

Define uma estratégia para controlar múltiplos robôs heterogêneos que colaboram para a exploração do ambiente. Neste trabalho o ambiente também é representado como uma matriz bidimensional, mantendo as regiões já mapeadas. A ideia da abordagem de Burgard et al (2000, p. 481) é considerar o custo para chegar a uma região inexplorada e sua utilidade. Burgard et al (2000, p. 418) definem a utilidade de uma localidade alvo como a probabilidade que esta localidade seja visível a partir de uma localidade alvo atribuída a outro robô. Dessa forma, é sempre atribuída a localidade alvo a um robô que tenha melhor relação entre a utilidade da localização e o custo do robô para chegar à localidade.

A abordagem proposta foi testada em ambientes reais utilizando dois robôs, com times coordenados entre si ou não. Também se realizou várias simulações com o objetivo de obter dados mais quantitativos. Como resultado, mostrou-se que times coordenados são mais rápidos na resolução do que times de robôs não coordenados. Os autores afirmam que dois robôs coordenados obtiveram o mesmo tempo no mapeamento do ambiente que três robôs descoordenados. A abordagem foi considerada mais capaz de coordenar os múltiplos robôs dos que as técnicas anteriores, melhorando o tempo total do mapeamento.

### 2.5.4 Adaptive mapping and navigation by teams of simple robots

Desenvolve uma abordagem utilizando um time de robôs para mapear um ambiente

desconhecido em busca de um local objetivo. Cohem (1996, p. 412) divide o time em um navegador, responsável por determinar o caminho ao objetivo, e em cartógrafos, responsáveis pela exploração aleatória do ambiente, para montar o mapa. O mapa é construído para ser uma estrutura que permita ao navegador planejar um caminho mais curto (ou o possivelmente o mais curto) entre os pontos do ambiente. Os cartógrafos podem explorar o ambiente de maneira aleatória e caso algum deles encontre o objetivo, este repassa a informação aos robôs em seu campo de visão, que repassam sucessivamente até que ela chegue ao navegador. Com base no caminho feito pela mensagem, o navegador consegue determinar o local do objetivo.

Todos os experimentos deste trabalho foram realizados em quatro ambientes simulados em computadores. Isso permitiu que os experimentos trouxessem dados sobre a qualidade dos caminhos realizados, os efeitos do alcance dos sensores dos robôs e os efeitos do erro nas movimentações (quando há erros de posicionamento que se acumulam). O autor conclui que o tempo de mapeamento diminui rapidamente quando o número de robôs cresce.

### 3 REQUISITOS DO SISTEMA A SER DESENVOLVIDO

O sistema multiagente deverá:

- a) gerenciar os robôs para obter o mapeamento completo do ambiente (requisito funcional - RF);
- b) suportar o mapeamento de ambientes estáticos, possuindo somente barreiras que se elevam do solo, no mínimo, 0,5 metros (RF);
- c) disponibilizar uma interface para apresentar o mapa do ambiente, que deve ser atualizado durante a realização do mapeamento (RF);
- d) utilizar robôs criados pelo *kit* LEGO Mindstorms (requisito não-funcional - RNF);
- e) suportar no mínimo 2 robôs e no máximo 10 robôs (RNF);
- f) realizar a comunicação dos robôs utilizando a tecnologia *Bluetooth* (RNF);
- g) realizar a comunicação dos robôs com o computador utilizando a tecnologia *Bluetooth* (RNF);
- h) ser implementado utilizando a linguagem de programação Java (RNF);
- i) utilizar o ambiente Eclipse para o desenvolvimento (RNF);
- j) utilizar as bibliotecas da máquina virtual LeJOS para construção do controlador de cada robô (RNF);
- k) utilizar as bibliotecas do Java, Swing e Java2D para construção da interface de apresentação do mapa obtido pela exploração (RNF).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que a área de exploração e mapeamento já possui diversas abordagens pesquisadas. Entretanto, verificou-se que em sua grande maioria são testadas em simuladores e voltadas para apenas um robô. Neste trabalho, busca-se o contrário. A abordagem proposta é utilizar múltiplos robôs, evitando a simulação e a restrição de um único agente inteligente. Como mencionado anteriormente, Dudek et al. (1996, p. 375) afirmam que vários robôs são mais simples e baratos que um único robô complexo.

Como proposta, será construído um sistema multiagente, onde cada agente deste trabalho seria um robô, que percebe o ambiente através de sensores de toque e ultrassônico, e atua através de seus motores. A escolha do *kit* LEGO Mindstorms para construção dos robôs foi baseada na facilidade de programação, que utiliza a conhecida plataforma Java, e na sua acessibilidade econômica. Além disso, a Universidade Regional de Blumenau (FURB) possui vários *kits*, possibilitando a construção de inúmeros robôs.

A respeito dos trabalhos correlatados mencionados, pode-se afirmar que este trabalho utilizará de uma abordagem inspirada nos mesmos. No entanto, existem diferenciais em relação aos trabalhos relacionados. Enquanto Silva Júnior (2003) utiliza apenas um robô (agente) para o mapeamento, este trabalho utilizará vários organizados em um sistema multiagente. Burgard et al (2000) utilizam somente dois robôs, número limitado para o objetivo deste trabalho, que utilizará múltiplos robôs. Já Cohem (1996) e Soares e Campos (2006) limitam-se a somente simulações, sendo que este trabalho implementará a abordagem em robôs reais. Com base no trabalho de Soares e Campos (2006), pode-se definir as métricas a serem estipuladas para a avaliação da abordagem.

Por fim, a definição de uma interface gráfica para apresentar o ambiente enquanto o mesmo está sendo mapeado, vem de encontro da necessidade de obtenção e verificação dos resultados obtidos pelo sistema multiagente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALCH, Tucker; ARKIN, Ronald C. Behavior-based formation control for multirobot teams. **IEEE Transactions on Robot and Automation**, [S.l.], v. 14, n. 6, p. 926-939, Dec. 1998. Disponível em: <<http://nas.takming.edu.tw/houtsan/A1.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2010.

BURGARD, Wolfram et al. Collaborative multi-robot exploration. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION, [16th], 2000, São Francisco. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, 2000. p. 476-481. Disponível em: <<http://www.dtic.ua.es/asignaturas/STF/art6.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2010.

COHEN, William W. Adaptive mapping and navigation by teams of simple robots. **Robotics and Autonomous Systems**, [S.l.], v. 18, n. 4, p. 411-434, Oct. 1996. Disponível em: <[http://reference.kfupm.edu.sa/content/a/d/adaptive\\_mapping\\_and\\_navigation\\_by\\_teams\\_94504.pdf](http://reference.kfupm.edu.sa/content/a/d/adaptive_mapping_and_navigation_by_teams_94504.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2010.

DUDEK, Gregory et al. A taxonomy for multi-agent robotics. **Autonomous Robot**, Boston, v. 3, n. 4, p. 375-397, Dec. 1996. Disponível em: <<http://users.cs.dal.ca/~eem/cvWeb/pubs/kswarm.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2010.

JENNINGS, Nicholas R.; SYCARA, Katia; WOOLDRIDGE, Michael. A roadmap of agent research and development. **Autonomous Agents and Multi-Agent Systems**, Boston, v. 1, n. 1, p. 7-38, Mar. 1998. Disponível em: <<http://userpages.umbc.edu/~amrsh1/TimeLine/roadmap%20of%20agent%20research.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2010.

LEGO GROUP. **Mindstorms**. [S.l.], 2010a. Disponível em: <<http://mindstorms.lego.com/en-us/Default.aspx>>. Acesso em: 12 set. 2010.

\_\_\_\_\_. **Lego digital designer**. [S.l.], 2010b. Disponível em: <<http://ldd.lego.com/>>. Acesso em: 13 nov. 2010.

LEJOS. **LeJOS, Java for lego mindstorms**. [S.l.], 2010. Disponível em: <<http://lejos.sourceforge.net/>>. Acesso em: 12 set. 2010.

MURPHY, Robin R. **Introduction to AI robotics**. Cambridge: Mit Press, 2000.

RUSSELL, Stuart J.; NORVIG, Peter. **Inteligência artificial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

SILVA JÚNIOR, Edson P. **Navegação exploratória baseada em problemas de valores de contorno**. 2003. 109f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3819/000393490.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 09 nov. 2010.



SOARES, Rodrigo G. F.; CAMPOS, André M. C. Multiagent exploration task in games through negotiation. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE JOGOS E ENTRETENIMENTO DIGITAL. 5., 2006, Recife. **Anais eletrônicos...** Recife: Sociedade Brasileira de Computação, 2006. Não paginado. Disponível em:  
<<http://www.sbgames.org/papers/sbgames06/25.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2010.

WOOLDRIDGE, Michael. Intelligent Agents. In: WEISS, Gerhard. **Multiagent systems:** a modern approach to distributed artificial intelligence. 2. ed. Cambridge: The MIT Press, 2000. p. 27-77.

ZLOT, Robert et al. Multi-robot exploration controlled by a market. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION, [18th], 2002, Washington. **Proceeding...** Piscataway: IEEE, 2002. p. 3016-3023. Disponível em:  
<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.16.2667&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 21 set. 2010.