

# **AGENTE TOPOLÓGICO DE APRENDIZADO POR REFORÇO**

Arthur Plínio de Souza Braga

Tese apresentada à Escola de Engenharia de  
São Carlos da Universidade de São Paulo,  
como parte dos requisitos para a obtenção  
do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

**Orientador: Prof. Dr. Aluizio Fausto Ribeiro Araújo**

**São Carlos**

**2004**

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

B813a Braga, Arthur Plínio de Souza  
Agente topológico de aprendizado por reforço /  
Arthur Plínio de Souza Braga. -- São Carlos, 2004.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São  
Carlos-Universidade de São Paulo, 2004.

Área: Engenharia Elétrica.


Orientador: Prof. Dr. Aluizio Fausto Ribeiro  
Araújo.

1. Aprendizagem por reforço. 2. Mapas auto-  
organizáveis. 3. Aprendizagem latente. 4. Navegação de  
robô móvel. I. Título.

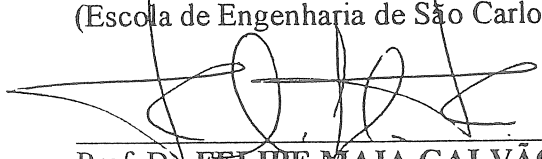
FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro ARTHUR PLÍNIO DE SOUZA BRAGA

Tese defendida e julgada em 07-04-2004 perante a Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. ALUÍZIO FAUSTO RIBEIRO ARAÚJO (Orientador)  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

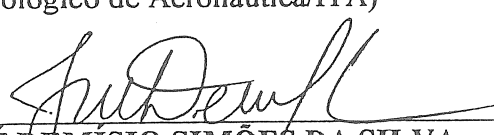
APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. FELIPE MAIA GALVÃO FRANÇA  
(Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ)

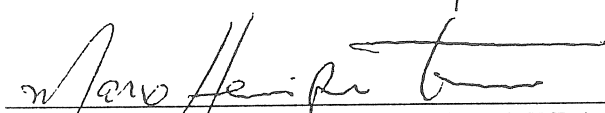
APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Assoc. CARLOS HENRIQUE COSTA RIBEIRO  
(Instituto Tecnológico de Aeronáutica/ITA)

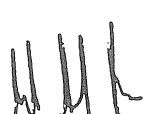
APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. JOSÉ DEMÍSIO SIMÕES DA SILVA  
(Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE)

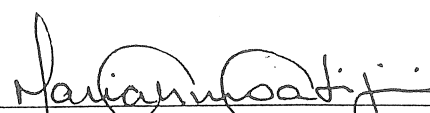
APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Assoc. MARCO HENRIQUE TERRA  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Assoc. MURILO ARAUJO ROMERO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Elétrica

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Tit. MARIA DO CARMO CANJURI  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

*Dedicatória*

---

*Dedico este trabalho aos meus  
pais, Elizete e José Newton,  
pelo contínuo apoio e incentivo.*

## *Agradecimentos*

---

Aos meus pais, Elizete e José Newton, por tudo.

Ao Prof. Dr. Aluizio Fausto Ribeiro Araújo, pelas oportunidades propiciadas a partir de seu convite para o programa de doutoramento do Departamento de Engenharia Elétrica da EESC/USP.

A Nilza Mendes que, pelo apoio, carinho e compreensão, contribuiu em muito para a conclusão deste trabalho.

Aos amigos de longa convivência, Marcelo Rosa, Guilherme Barreto, José Carlos, Renato Tinós, João Bosco, Patrícia Leite, Mário Oleskowski, Karla, Terra; e aos mais recentes, Aline, Antônio Carlos, Cléber, Gilson, Everaldo, Márcio, agradeço a paciência, o incentivo e a amizade.

A Daniel, Flávio e Humberto, pelo companheirismo em nossa antiga república.

Ao Dr. Jeremy Wyatt, Yoshiyuki, Fred, sua esposa Alcione, e todo o grupo de brasileiros em Birmingham, pelo auxílio e agradável convivência durante meu curto estágio na Inglaterra.

A todos os amigos e amigas que por falta minha não estão mencionados, pelas boas lembranças.

Ao Departamento de Engenharia Elétrica, pela utilização e fácil acesso aos seus laboratórios, bem como aos professores e funcionários, em especial, Roseli, Gérson, Marisa, Denise, Cida, José Carlos e Aura, que direta ou indiretamente ajudaram no desenvolvimento deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo suporte financeiro fornecido durante o período da realização deste trabalho.

# SUMÁRIO

|  |            |
|--|------------|
| <b>LISTA DE FIGURAS .....</b>  | <b>III</b> |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>   | <b>VI</b>  |
| <b>RESUMO .....</b>  | <b>VII</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>  | <b>IX</b>  |
| <b>CAPÍTULO 1.....</b>   | <b>1</b>   |
| 1.1. OBJETIVO .....  | 3          |
| 1.2. CONTRIBUIÇÕES.....  | 3          |
| 1.3. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO .....  | 4          |
| <b>CAPÍTULO 2.....</b>   | <b>6</b>   |
| 2.1. PROBLEMA GERAL: ACELERAR A SOLUÇÃO DO PARDM .....                                 | 6          |
| 2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO: A NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA DE UM ROBÔ MÓVEL .....                  | 9          |
| 2.3. O PROCESSO CONSIDERADO.....   | 12         |
| 2.4. DIRECIONAMENTO DA PESQUISA .....  | 15         |
| <b>CAPÍTULO 3.....</b>   | <b>17</b>  |
| 3.1. APRENDIZAGEM LATENTE.....   | 18         |
| 3.1.1. <i>Neurofisiologia dos Mapas Cognitivos – Células Posicionais</i> .....         | 20         |
| 3.2. MODELOS COMPUTACIONAIS DE MAPA COGNITIVO .....                                    | 23         |
| 3.2.1. <i>O Modelo de Navegação de Burgess et alli (1994)</i> .....                    | 23         |
| 3.2.2. <i>Modelo de Navegação de Quoy et alli (2000)</i> .....                         | 24         |
| 3.3. COMPORTAMENTO EXPLORATÓRIO.....   | 25         |
| 3.3.1. <i>Exploração do Predador (Linhares, 1998)</i> .....                            | 25         |
| 3.3.2. <i>Comportamento Exploratório de Tchernichovski et alli (1998)</i> .....        | 26         |
| 3.4. PREMISSAS PARA O AGENTE A SER PROPOSTO .....                                      | 26         |
| <b>CAPÍTULO 4.....</b>   | <b>28</b>  |
| 4.1. AUMENTO NA VELOCIDADE DA APRENDIZAGEM POR REFORÇO .....                           | 28         |
| 4.1.1. <i>Simplificação do Processo de Assinalação Temporal de Crédito</i> .....       | 29         |
| Decompondo a Tarefa .....  | 29         |
| Melhores Funções de Reforço .....  | 30         |
| 4.1.2. <i>Aceleração do Processo de Assinalação Temporal de Crédito</i> .....          | 31         |
| Traços de Elegibilidade .....  | 31         |
| Métodos de Generalização.....  | 32         |
| 4.1.3. <i>Comentários sobre a Opção Adotada para a Assinalação de Crédito</i> .....    | 33         |
| 4.2. MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS EM APRENDIZAGEM POR REFORÇO.....                          | 34         |
| 4.2.1. <i>O Mapa de Kohonen Original</i> .....   | 34         |
| ESTUDO DE CASO: Q-Kohon (Touzet, 1997).....  | 35         |
| ESTUDO DE CASO: Smith (2001) .....   | 36         |
| 4.2.2. <i>Redes de Representação da Topologia</i> .....                                | 37         |
| ESTUDO DE CASO: Großmann (2001) .....  | 38         |
| ESTUDO DE CASO: Aprendizagem-Q de Ação Contínua (Millán; Posenato e Dedieu, 2002)..... | 39         |
| 4.2.3. <i>Discussão sobre os Algoritmos Apresentados</i> .....                         | 42         |
| 4.3. EXPLORAÇÃO .....  | 43         |
| 4.3.1. <i>Exploração Não-Direcionada</i> .....   | 43         |
| 4.3.2. <i>Exploração Direcionada, com medidas locais</i> .....                         | 44         |
| 4.3.3. <i>Exploração Direcionada, com medidas globais</i> .....                        | 45         |
| 4.3.4. <i>Comentários</i> .....  | 46         |
| 4.4. COMENTÁRIOS FINAIS E CAMINHOS PARA A PESQUISA .....                               | 47         |

|  |            |
|--|------------|
| <b>CAPÍTULO 5.....</b>   | <b>50</b>  |
| 5.1. APRENDIZAGEM LATENTE - ESPALHAMENTO DA INFORMAÇÃO .....                           | 51         |
| 5.1.1. <i>Interpretação e Alternativa a H(s)</i> .....                                 | 52         |
| 5.2. MAPAS COGNITIVOS - MAPAS TOPOLÓGICOS.....   | 53         |
| 5.2.1. <i>Mapa Topológico Incremental (MTI)</i> .....                                  | 54         |
| 5.2.2. <i>Mapa Topológico Incremental Classificador (MTIC)</i> .....                   | 56         |
| 5.3. O AGENTE TOPOLÓGICO DE APRENDIZAGEM POR REFORÇO (ATAR) .....                      | 59         |
| 5.3.1. <i>Versão 1 do Agente Topológico de Aprendizagem por Reforço (ATAR 1)</i> ..... | 63         |
| 5.3.2. <i>Versão 2 do Agente Topológico de Aprendizagem por Reforço (ATAR 2)</i> ..... | 63         |
| 5.3.3. <i>Execução da Política do ATAR</i> .....                                       | 64         |
| 5.4. MELHORIA DAS TRAJETÓRIAS INICIAIS .....   | 64         |
| 5.4.1. <i>Melhoria das trajetórias com uma rede RBF incremental</i> .....              | 65         |
| 5.4.2. <i>Melhoria das trajetórias por detecção de ponto interior</i> .....            | 68         |
| 5.4.3. <i>Comparação entre as duas alternativas de melhoria das trajetórias</i> .....  | 69         |
| 5.5. EXPLORAÇÃO DIRECIONADA EM REPRESENTAÇÕES NÃO TABULARES .....                      | 70         |
| 5.6. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO .....   | 70         |
| <b>CAPÍTULO 6.....</b>   | <b>72</b>  |
| 6.1. O ATAR EM AMBIENTES ESTRUTURADOS .....  | 73         |
| 6.1.1. <i>Resultados com Relação ao Critério 1</i> .....                               | 73         |
| 6.1.2. <i>Resultados com Relação ao Critério 2</i> .....                               | 75         |
| 6.1.3. <i>Consolidação dos Resultados Através de Testes de Hipóteses</i> .....         | 77         |
| 6.2. O ATAR EM AMBIENTES NÃO-ESTRUTURADOS .....  | 79         |
| 6.2.1. <i>Imprecisão sobre os Estados do Robô</i> .....                                | 79         |
| 6.2.2. <i>Alteração na Configuração do Ambiente</i> .....                              | 89         |
| 6.3. MELHORIA DAS TRAJETÓRIAS .....  | 92         |
| 6.4. TESTES COM OS MAPAS TOPOLÓGICOS .....   | 95         |
| 6.5. A ESTRATÉGIA DE EXPLORAÇÃO .....  | 97         |
| 6.6. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES .....  | 98         |
| <b>CAPÍTULO 7.....</b>   | <b>100</b> |
| 7.1. RESUMO DAS CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS DA TESE .....                                | 101        |
| 7.2. PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS.....  | 102        |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>104</b> |
| <b>APÊNDICE A – ALGORITMOS DE APRENDIZAGEM POR REFORÇO SIMULADOS .....</b>             | <b>116</b> |
| A.1. APRENDIZAGEM-Q .....  | 116        |
| A.2. SARSA .....   | 116        |
| A.3. APRENDIZAGEM-Q( $\lambda$ ) .....   | 117        |
| A.4. SARSA( $\lambda$ ) .....  | 118        |
| A.5. APRENDIZAGEM-Q( $\lambda$ ) RÁPIDA .....  | 119        |
| A.6. DYNA-Q.....   | 120        |
| <b>APÊNDICE B - PARÂMETROS UTILIZADOS NOS ALGORITMOS SIMULADOS.....</b>                | <b>121</b> |

# Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>FIGURA 2.1</b> - Estrutura genérica do aprendizado por reforço (Sutton e Barto, 1998). .....  | 7  |
| <b>FIGURA 2.2</b> – Diagrama considerado para o funcionamento do agente. ....  | 12 |
| <b>FIGURA 2.3</b> - Figura reproduzida de Zalama <i>et alli</i> (1995): Durante um intervalo de tempo $\Delta t$ , o robô move-se ao longo de uma trajetória circular com centro em $X_C$ através de uma distância $\Delta S$ e ângulo $\Delta\theta$ conforme as velocidades aplicadas às rodas. ....   | 13 |
| <b>FIGURA 2.4</b> – (a) Representação dos oito movimentos considerados do robô. Cada estado possui espaço suficiente para este ser capaz de realizar uma rotação em torno de seu eixo central. (b) Representação vetorial dos oito possíveis movimentos. As distâncias percorridas pelo robô, em cada transição de estado, dependem do movimento ser realizado nas diagonais ou nos sentidos dos eixos vertical ou horizontal..... | 14 |
| <b>FIGURA 2.5</b> - Diferentes configurações usadas para testar o ATAR: (E1) Sala simples com uma barreira, (E2) Sala simples com obstáculo em U, (E3) Ambiente complexo, e (E4) Labirinto.....  | 14 |
| <b>FIGURA 2.6</b> - Ambiente de quatro quartos utilizado para testar o ATAR em ambiente dinâmico: (a) Configuração com porta aberta entre o ponto inicial e a meta. (b) Configuração com porta fechada entre o ponto inicial e a meta.....   | 15 |
| <b>FIGURA 3.1</b> – Exemplo de experimento que indica a existência de orientação espacial (inspirado em Tolman, 1948): (a) Labirinto em que os ratos foram originalmente treinados. (b) Labirinto modificado em que foram feitos os experimentos.....  | 19 |
| <b>FIGURA 3.2</b> – Localização do hipocampo no cérebro de um roedor - áreas CA1 e CA3 em destaque (Redish, 1997). ....  | 20 |
| <b>FIGURA 3.3</b> - (a) Arena circular. (b) Padrão de ativação de uma única célula do hipocampo em cada posição da arena circular (Redish, 1997). ....   | 21 |
| <b>FIGURA 3.4</b> - (a) Representação topológica de seis campos posicionais em um ambiente. (b) Exemplo da conectividade das seis células posicionais relacionadas aos campos indicados: sinapses conectando pares de células posicionais com campos próximos são fortalecidas (linhas grossas), e sinapses conectando células posicionais com campos posicionais distantes são enfraquecidas (linhas finas).....                  | 22 |
| <b>FIGURA 3.5</b> – Modelo proposto por Burgess <i>et alli</i> (1994) para escolha de ações motoras em uma tarefa de navegação. ....   | 24 |
| <b>FIGURA 5.1</b> - Transições de estado, e respectivos sinais de reforço recebidos, do agente ao realizar uma política $\pi$ .....  | 52 |
| <b>FIGURA 5.2</b> – O subconjunto $T(s_t)$ do espaço de estados $S$ representa a região de influência do estado $s_t$ . ....   | 53 |
| <b>FIGURA 5.3</b> - Posição relativa do vértice $s$ (representado pelo seu vetor referência $w_s$ ) com relação ao círculo com diâmetro nos vértices $n$ e $m$ ( $w_n$ e $w_m$ , respectivamente): (a) interno ao círculo; (b) na fronteira do círculo e (c) externo ao círculo. ....  | 56 |
| <b>FIGURA 5.4</b> - Exemplos de geração dos vértices do mapa (segunda linha) a partir da classificação dos estados sensorizados durante a exploração dos ambientes (primeira linha) pelo robô. Regiões classificadas como livres estão em branco. Regiões classificadas como obstáculos estão em verde. ....   | 57 |
| <b>FIGURA 5.5</b> – Possíveis configurações para os três pontos: (a) Em seqüência horária, (b) Colineares ou (c) Em seqüência anti-horária.....  | 58 |
| <b>FIGURA 5.6</b> – Possíveis configurações para círculo que circunscreve o triângulo $T_n$ formado pelos pontos $(n_1, n_2, n_3)$ e o estímulo $\xi$ : (a) Estímulo externo ao círculo, (b) Estímulo pertencente ao círculo ou (c) Estímulo interno ao círculo. ....  | 59 |



|  |    |
|--|----|
| <b>FIGURA 5.7</b> – Exemplo de triangularização local incremental: (a) Mapa topológico inicial, (b) Ocorrência do estímulo $\xi$ , e exibição do polígono $P$ formado pelos triângulos cujos círculos contêm o novo estímulo e (c) Novo mapa topológico. ....  | 59 |
| <b>FIGURA 5.8</b> - (a) Uma região de um mapa topológico aprendido - com destaque no vértice $G$ . (b) Vizinhanças (0-3) da célula de Voronoi que contém o vértice $G$ – as cores indicam as vizinhanças consideradas: células de mesma cor estão a um mesmo número de arestas do vértice $G$ . ....   | 60 |
| <b>FIGURA 5.9</b> - Atributos dos vértices do <i>ATAR</i> . ....   | 61 |
| <b>FIGURA 5.10</b> - (a) Sala simples com uma barreira na qual um único estado meta é especificado. (b) Exemplo de um mapa topológico gerado para representar o ambiente de (a). ....  | 61 |
| <b>FIGURA 5.11</b> - Vértices representando as $k = 0, \dots, 11$ vizinhanças topológicas do estado meta para o ambiente da Figura 5.10. ....  | 62 |
| <b>FIGURA 5.12</b> – (a) Estimativa da função de avaliação gerada pelo <i>ATAR</i> para a tarefa de navegação do ambiente da Figura 5.10.a; (b) Superfície obtida a partir da regressão da estimativa da função de avaliação gerada pelo <i>ATAR</i> ; (c) Curvas de nível da estimativa da função de avaliação gerada pelo <i>ATAR</i> ; (d) Curvas de nível da superfície gerada a partir da regressão da estimativa da função de avaliação gerada pelo <i>ATAR</i> . .... | 66 |
| <b>FIGURA 5.13</b> – (a) e (b) Trajetórias geradas antes e depois, respectivamente, da regressão da estimativa da função de avaliação obtida com o <i>ATAR</i> 1 (100 treinamentos) para o agente partindo do estado (5,5). (c) e (d) Trajetórias geradas antes e depois, respectivamente, da regressão da estimativa da função de avaliação obtida com o <i>ATAR</i> 1 (100 treinamentos) para o agente partindo do estado (20,10). ....                                    | 67 |
| <b>FIGURA 5.14</b> – (a) e (b) Trajetórias geradas antes e depois, respectivamente, da regressão da estimativa da função de avaliação obtida com o <i>ATAR</i> 1 (100 treinamentos com o ambiente simples com barreira foram ainda mais sentidos em ambientes mais complexos como) para o agente partindo do estado (35,5). ....   | 67 |
| <b>FIGURA 5.15</b> - (a) Trajetória original obtida a partir do mapa topológico. (b)-(c) Estágios intermediários da manipulação do mapa. (d) Trajetória final. ....  | 68 |
| <b>FIGURA 5.16</b> – Exemplos de melhoria da trajetória por detecção de ponto interior: (a) e (c) Trajetórias originais gerada a partir do mapa topológico entre um ponto inicial (5,5) e a meta (29,29), (b) e (d) sub-grafos resultantes da aplicação depois do processo de mudanças nas arestas originais entre ponto inicial e meta. ....  | 69 |
| <b>FIGURA 6.1</b> - Número de passos conectando as posições inicial e final para os sete algoritmos AR simulados, após cada treinamento, considerando os quatro ambientes da Figura 2.2: E1 – Ambiente simples com barreira, E2 – Ambiente simples com obstáculo em U, E3 – Ambiente complexo, e E4 - Labirinto. ....  | 74 |
| <b>FIGURA 6.2</b> - Número de atualizações da função de avaliação para os sete algoritmos AR simulados, a cada treinamento, para os quatro ambientes da Figura 2.2: E1 – Ambiente simples com barreira, E2 – Ambiente simples com obstáculo em U, E3 – Ambiente complexo, e E4 - Labirinto. ....   | 76 |
| <b>FIGURA 6.3</b> - Diagrama do ensaio inicial proposto para análise do agente em um ambiente não-estruturado. ....  | 80 |
| <b>FIGURA 6.4</b> - Curvas dos tamanhos das trajetórias geradas pela <i>Aprendizagem-Q</i> , com a evolução dos treinamentos, para cinco diferentes fatores de ruídos nos ambientes: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4. ....   | 81 |
| <b>FIGURA 6.5</b> - Curvas dos tamanhos das trajetórias geradas pelo <i>SARSA</i> , com a evolução dos treinamentos, para cinco diferentes fatores de ruídos nos ambientes: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4. ....  | 82 |
| <b>FIGURA 6.6</b> - Curvas dos tamanhos das trajetórias geradas pela <i>Aprendizagem-Q</i> ( $\lambda$ ), com a evolução dos treinamentos, para cinco diferentes fatores de ruídos nos ambientes: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4. ....  | 83 |
| <b>FIGURA 6.7</b> - Curvas dos tamanhos das trajetórias geradas pelo <i>SARSA</i> ( $\lambda$ ), com a evolução dos treinamentos, para cinco diferentes fatores de ruídos nos ambientes: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4. ....   | 83 |
| <b>FIGURA 6.8</b> - Curvas dos tamanhos das trajetórias geradas pela <i>Aprendizagem-Q</i> ( $\lambda$ ) <i>Rápida</i> , com a evolução dos treinamentos, para cinco diferentes fatores de ruídos nos ambientes: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4. ....   | 84 |
| <b>FIGURA 6.9</b> - Curvas dos tamanhos das trajetórias geradas pelo <i>Dyna-Q</i> , com a evolução dos treinamentos, para cinco diferentes fatores de ruídos nos ambientes: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4. ....   | 85 |

|  |    |
|--|----|
| <b>FIGURA 6.10</b> - Curvas dos tamanhos das trajetórias geradas pelo <i>ATAR</i> , com a evolução dos treinamentos, para cinco diferentes fatores de ruídos nos ambientes: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4. ....  | 86 |
| <b>FIGURA 6.11</b> - Evolução no tamanho das trajetórias (média em 30 ensaios) aprendidas a cada treinamento para as configurações da Figura 2.6. ....   | 90 |
| <b>FIGURA 6.12</b> – Exemplos de trajetórias geradas pelo <i>ATAR</i> para o ambiente da Figura 2.6 na condição de: (a) porta aberta e (b) porta fechada. ....   | 90 |
| <b>FIGURA 6.13</b> - Número das atualizações da função de avaliação (média para 30 ensaios) para as configurações da Figura 2.6. ....  | 91 |
| <b>FIGURA 6.14</b> - Gráficos comparativos entre as trajetórias originalmente geradas pelo <i>ATAR</i> e as trajetórias equivalentes geradas ao aplicar o método de melhoria por detecção do ponto interno, segundo as classes de trajetórias definidas na Tabela 6.1 para os quatro ambiente: E1, E2, E3 e E4. .... | 93 |
| <b>FIGURA 6.15</b> - Exemplos das trajetórias originalmente geradas pelo <i>ATAR</i> e as trajetórias equivalentes geradas ao aplicar o método de melhoria por detecção do ponto interno para os quatro ambiente: E1, E2, E3 e E4. ....  | 94 |
| <b>FIGURA 6.16</b> - Gráficos comparativos entre os mapas topológicos MTI e MTIC sob os aspecto da geração de vértices - (a),(c),(e) e (g) - e a geração de bordas - (b),(d), (f) e (h). ....  | 95 |
| <b>FIGURA 6.17</b> – Exemplo de mapas topológicos gerados para um mesmo ambiente pelo: (a) MTI - 505 vértices. (b) MTIC - 131 vértices. ....   | 96 |
| <b>FIGURA 6.18</b> - Comparação das curvas de aprendizagem do <i>ATAR</i> usando o MTI ou o MTIC para os ambientes da Figura 2.2: (a) E1 – Ambiente simples com barreira, (b) E2 – Ambiente simples com obstáculo em U, (c) E3 – Ambiente complexo, e (d) E4 - Labirinto. ....                                       | 96 |
| <b>FIGURA 6.19</b> – Curvas de aprendizagem do <i>ATAR</i> para diferentes técnicas de exploração (não-direcionada, direcionada local, direcionada global) nos ambientes da Figura 2.5. ....   | 98 |

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

