

PLANO DE TRABALHO PARA PROJETO DE PESQUISA

**“BIOBOTS - Inspiração Biológica e a Emergência da  
Inteligência em Agentes Autônomos”**

Mauro Roisenberg  
mauro@inf.ufsc.br

Departamento de Informática e de Estatística  
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC

**Sumário**

1. Contexto e motivação
2. Estado da arte
3. Principais resultados de pesquisa anterior
4. Objetivos Gerais
5. Objetivos Específicos
6. Metodologia
7. Orçamento
8. Etapas do projeto abrangida pelo FUNPESQUISA'99
9. Referências bibliográficas

**Palavras-chave**

- Inteligência Computacional
- Agentes Autônomos
- Robótica
- Vida Artificial
- Redes Neurais
- Algoritmos Evolucionários

## 1. Contexto e motivação

As áreas de robótica, automação industrial e inteligência computacional são as áreas que se encontram hoje em dia experimentando maior desenvolvimento dentro da informática. As duas primeiras tem sido requisito fundamental em um mundo cada vez mais globalizado, em que os processos de produção exigem rapidez, precisão e qualidade. Entretanto as técnicas de computação tradicionalmente utilizadas para um ambiente de automação comercial raramente se aplicam em aplicações industriais e robóticas.

A inteligência computacional é uma das técnicas que mais se prestam para desenvolver aplicações dotadas de alto grau de inteligência e robustez e que operam em ambientes dinâmicos e hostis, como é o caso da robótica e da automação industrial. No entanto, entre as várias abordagens atualmente englobadas pela inteligência computacional, nem todas se prestam para implementação de agentes inteligentes nestas áreas de aplicação, como é o caso, por exemplo, das técnicas da abordagem simbólica. Por outro lado, seres vivos, sejam eles mamíferos, aves, insetos ou mesmo vermes, apresentam uma capacidade de operação e adaptação no mundo real bastante superior aos agentes inteligentes artificialmente desenvolvidos.

Porque procurar na Natureza, em especial nos fenômenos biológicos, os paradigmas para o desenvolvimento de sistemas computacionais mais eficazes e capazes de resolver os problemas propostos?

A motivação para tomar esta inspiração biológica vem da suposição que a Natureza, com seus mecanismos, buscou resolver um problema de otimização [3]. A idéia cada vez mais aceita hoje em dia, é de que a Natureza procura um ótimo. Pesquisadores com Rashevsky[19] e Rosen[26] têm procurado mostrar como os fenômenos biológicos obedecem a leis perfeitamente expressas de forma matemática, bem com a importância dos conceitos de otimização em biologia.

Este projeto propõe que a inspiração biológica pode ser a fonte de mecanismos e soluções que, uma vez entendidos e implementados no ambiente computacional, permitirão projetar e construir agentes inteligentes com alto grau de autonomia e utilidade [25].

## 2. Estado da arte

Agentes Autônomos (AAs) são sistemas que possuem uma interação duradoura com um ambiente dinâmico externo, estando normalmente instalados fisicamente em mecanismos. Eles são dotados de rodas ou outros meios de locomoção e sensores e projetados para funcionarem por longos períodos de tempo, operando em um ciclo que envolve a aquisição de informações do ambiente e a geração de dados de saída. Na sua interação com o ambiente externo, os AAs podem influenciar a dinâmica deste ambiente, porém dificilmente podem controlá-lo completamente [13]. A operação destes sistemas envolve principalmente problemas navegacionais, tais como fugir de obstáculos, vagar no ambiente sem esbarrar em objetos, atingir uma posição determinada, etc [2] [10].

Os AAs encontram numerosas aplicações nos dias de hoje. Entre elas podemos citar: o transporte de peças e ferramentas nos ambientes industriais, escavação e transporte de minérios em minas subterrâneas, exploração submarina, manutenção de equipamentos petrolíferos a grandes profundidades, exploração espacial, investigação de vulcões, construção e manutenção de estradas, vigilância, etc [2] [8] [10] [11] [12].

Nas aplicações descritas, os agentes operam no mundo real, ou seja, em ambientes chamados "Ambientes Abertos". Um Ambiente Aberto é aquele que não é cem por cento conhecido, podendo apresentar obstáculos e eventos imprevisíveis. A operação dos AAs nestes ambientes está associada a uma série de problemas. Em primeiro lugar é impossível descrever completamente o ambiente e os obstáculos que o agente irá encontrar; os ambientes abertos apresentam constantemente eventos e situações imprevisíveis que podem levar a replanejamentos e novas ações. Desenvolver Agentes Autônomos capazes de realizar suas tarefas operando em ambientes abertos, dinâmicos e desestruturados, de maneira autônoma, tem sido um desafio para muitos pesquisadores de áreas como Robótica e Inteligência Artificial [2] [10] [11] [15] [16] [17].

Os AAs desenvolvidos por estes pesquisadores apresentam uma performance de operação em tempo-real no mundo real infinitamente inferior quando comparada à dos organismos biológicos. Assim, se os mecanismos utilizados pela Natureza foram capaz de desenvolver sistemas (os animais) que apresentam uma extraordinária performance de operação e sobrevivência, parece interessante e promissor tentar estudar e utilizar estes mecanismos naturais a fim de desenvolver modelos que, assim como os animais, funcionariam muito bem no mundo real. Nesta área, conhecida de maneira geral como Vida Artificial ("Artificial Life"), encontram-se diversos pesquisadores trabalhando em diferentes aspectos desta abordagem [1] [7] [18] [27], entre outros. A corrente de pensamento destes autores parece ver em um modesto inseto, no lugar das habilidades simbólicas de um especialista, o melhor protótipo para o que eles consideram como inteligência [9].

Segundo Langton [14], a Vida Artificial é o campo de estudo dedicado a tentar abstrair a dinâmica fundamental dos princípios que regem os fenômenos biológicos e que procura recriar esta dinâmica em outro meio físico - os computadores - tornando-os acessíveis a novas formas de manipulação experimental e testes.

### **3. Principais resultados de pesquisa anterior**

O pesquisador terminou recentemente seu doutoramento no Grupo de Pesquisas em Engenharia Biomédica - GPEB - do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC [25].

Durante seu doutoramento o pesquisador investigou a utilização mecanismos naturais para a implementação de agentes autônomos inteligentes. Primeiramente podemos considerar que os Algoritmos Evolucionários fornecem o modelo computacional que simula, mesmo que de maneira simplista, os processos naturais de reprodução, mutação e seleção que simulam a evolução de estruturas individuais no processo de busca por indivíduos mais aptos a sobreviverem e agirem em um dado ambiente [5] [20] [21] [22] [23] [24]. Quanto à questão de modelagem de aspectos do comportamento dos animais, a abordagem Conexionista é considerada e utilizada para simular aspectos comportamentais na implementação de Agentes Autônomos [6].

Observa-se durante o trabalho que uma série de classes de comportamentos observados nos animais podem ser implementados através de diferentes arquiteturas de Redes Neurais Artificiais [20] [22]. Também se enfatiza o fato de que estas diferentes arquiteturas podem ser obtidas através de Algoritmos Evolucionários [5]. Procura-se comprovar a hipótese de que comportamentos reflexivos podem ser implementados através de arquiteturas mais simples de redes neurais estáticas, do tipo direta ou "feedforward". Já comportamentos mais complexos, tais como os comportamentos reativos, que persistem e se desenrolam mesmo após ter cessado o estímulo sensorial excitador, necessitam de redes neurais realimentadas ou recorrentes, com neurônios dinâmicos, de modo a inserir dinâmica e memória no sistema [4] [21] [23].

No seu trabalho, o pesquisador propõe um formalismo, baseado na Teoria Geral de Sistema para conceituação de Agentes Autônomos [24]. A seguir, os conceitos de comportamento, aprendizado, evolução e sistema nervoso são descritos e analisados, tanto do ponto de vista biológico como dos respectivos paradigmas computacionais. Finalmente, são descritas algumas contribuições originais que têm como base os temas estudados anteriormente e que permitem uma nova alternativa para implementação de Agentes Autônomos sendo apresentadas implementações concretas de exemplos simples que ilustram as idéias apresentadas neste e nos capítulos anteriores.

#### **4. Objetivos Gerais**

- Criar a necessária infra-estrutura para o estudo de fenômenos biológicos e sua recriação no ambiente computacional, tornando-os acessíveis a novas formas de manipulação experimental e testes.
- Geração de protótipos utilizando os paradigmas computacionais recriados a partir de hipóteses e evidências obtidos do estudo dos paradigmas biológicos.

#### **5. Objetivos Específicos**

Pretende-se, ao longo de dois anos executar os objetivos gerais do projeto de pesquisa. Para isto, alguns tópicos a serem investigados e desenvolvidos neste período são:

- Disponibilizar um ambiente com a infra-estrutura necessária para que se possa desenvolver e implementar os estudos e idéias propostas pelo projeto de pesquisa.
- Implementação de um conjunto de comportamentos, alguns inclusive antagônicos e que agem sobre o mesmo conjunto de atuadores.
- Investigar a existência de uma estrutura neural hierárquica em que comportamentos mais complexos ocupam graus mais elevados na hierarquia e podem influenciar e mesmo suprimir os comportamentos mais simples que estão implementados em níveis inferiores da hierarquia.
- Desenvolvimento de agentes que possam ir continua e progressivamente aprendendo, mesmo durante o período de operação, de modo que possam se adaptar a novas situações e mudanças no ambiente.
- Investigar a possibilidade de se implementar processamento simbólico em RNAs e tentar fazer emergir aspectos de comportamento racional em agentes autônomos inteligentes.

## 6. Metodologia

### 6.1 Escolha da classe de problemas e implementação do ambiente-alvo

Para a pesquisa, será fundamental a disponibilização de um ambiente-alvo onde as idéias propostas possam ser testadas. Para disponibilização deste ambiente, a metodologia empregada será a de primeiramente integrar os diversos softwares e ferramentas já disponíveis e que serão adquiridos de modo a compor o ambiente de simulação.

A seguir apresenta-se uma descrição do software de simulação que pretende-se instalar no ambiente do projeto:

“ Khepera Simulator

*Description: This public domain software package was written by Olivier Michel during the preparation of his Ph.D. thesis, at the Laboratoire I3S, URA 1376 of CNRS and University of Nice-Sophia Antipolis, France. It allows to write your own controller for the mobile robot Khepera using C or C++ languages, to test them in a simulated environment and features a nice colorful X11 graphical interface. Moreover, if you own a Khepera robot, it can drive the real robot using the same control algorithm. It is mainly targeted towards researchers studying autonomous agents.”*

Uma vez disponível o ambiente, em seguida se procederá ao estudo e implementação, neste ambiente, de uma classe específica de descrições comportamentais inspiradas no comportamento de insetos que modo a permitir a verificação das técnicas de projeto propostas.

### 6.2 A pesquisa anterior como ponto de partida

Nos projetos de pesquisa abordados neste plano, o pesquisador pretende utilizar as técnicas já desenvolvidas como ponto de partida para o desenvolvimento de novas técnicas, aproveitando problemas em aberto detectados durante o período de doutoramento.

### 6.3 Implementação e experimentação

A implementação dos modelos e técnicas utilizará a estrutura oferecida pelo ambiente alvo. Com a disponibilização de um ambiente de simulação, onde pode-se configurar diferentes ambientes, com diversos graus de complexidade e agentes com diferentes capacidades sensoriais, pode-se proceder então a implementação dos modelos propostos para obtenção dos objetivos específicos, representando a capacidade cognitiva do agente, com diferentes técnicas de controle biologicamente inspiradas, tais como redes neurais, algoritmos evolucionários, lógica nebulosa, bem como combinações destas técnicas. Muito provavelmente a linguagem de implementação dos modelos será a linguagem C++.

À medida em que os modelos e técnicas forem sendo implementadas, buscar-se-á testá-los usando exemplos de várias situações e configurações possíveis do ambiente, bem como, sempre que possível, comparar-se-á o comportamento inteligente emergente com

comportamentos similares obtidos através utilização de outras técnicas disponíveis e cujos resultados estão apresentadas na literatura.

#### 6.4 Os colaboradores e seus papéis

Para a execução dos projetos de pesquisa, o autor terá como colaboradores bolsistas de iniciação científica e alunos de mestrado. As tarefas serão distribuídas da seguinte forma:

- **Professor pesquisador:** Definir modelos, desenvolver técnicas e algoritmos. Implementar um núcleo básico de modelos e métodos para servir de substrato ao trabalho dos outros colaboradores.
- **Alunos de mestrado:** Revisar modelos e técnicas já existentes para implementação de agentes autônomos inteligentes. Implementar camadas agregadas ao núcleo básico implementado pelo professor pesquisador. Implementar e experimentar novas técnicas biologicamente inspiradas para emergência da inteligência em agentes.
- **Bolsistas de iniciação científica:** Implementar ferramentas auxiliares para a modelagem. Instalar as ferramentas de domínio público e integrar as diversas ferramentas já disponíveis no ambiente-alvo. Auxiliar no porte e implementação do ambiente-alvo.

#### 7. Orçamento Detalhado

RUBRICA	VALOR
<b>Equipamentos</b>	
1. Computador Pentium II 400MHz, com 64 MB de memória RAM; HD de 6,3 GB; placa de vídeo 2MB, PCI; placa de som, leitor de CD-ROM 32X; ZIPDrive externo; placa de rede NE2000, 10/100 Mbps; teclado; mouse; gabinete com fonte.	<b>R\$1.600,00</b>
2. Monitor SVGA color 17" .28 NE	<b>R\$900,00</b>
3. Impressora Jato de Tinta Colorida com resolução mínima de 600X600 dpi	<b>R\$500,00</b>
<b>Total</b>	<b>R\$3.000,00</b>
<b>JUSTIFICATIVA:</b> O material permanente acima se constituirá no ambiente que sobre o qual se fará a instalação, transferência e customização dos softwares de simulação de domínio público já disponíveis e no qual os trabalhos dos colaboradores envolvidos no projeto serão desenvolvidos.	

#### 8. Etapas do projeto abrangida pelo FUNPESQUISA'99

Como o prazo para a realização dos projetos aprovados pelo FUNPESQUISA/99 é de apenas 9 meses, e o projeto descrito acima é um projeto com prazo de execução total de 2 anos, optou-se por realizar apenas algumas das suas etapas durante o período abrangido pelo Fundo. Estas etapas se constituem nos itens 6.1 e 6.2 descritos na Metodologia, ou seja, durante os 9 meses do projeto pretende-se:

- Implementar o ambiente-alvo, e
- Portar para este ambiente as ferramentas já desenvolvidas na Tese de Doutorado do professor pesquisador.

Cumpridas estas etapas, pretende-se obter o conhecimento e familiaridade necessária com o ambiente-alvo e as ferramentas de implementação de comportamentos inteligentes para, no futuro, continuar o desenvolvimento do projeto em sua totalidade, à medida que novos recursos forem sendo oferecidos e concedidos.

## 9. Referências bibliográficas

- [1] T. L. Anderson and M. Donath. “Animal behavior as a paradigm for developing robot autonomy”. In P. Maes, editor, *Designing Autonomous Agents: Theory and Practice from Biology to Engineering and Back*, A Bradford Book, p. 145--168. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1990.
- [2] R. C. Arkin. “Intelligent robotic systems”. *IEEE Expert*, p. 6--8, Apr. 1995.
- [3] J. M. Barreto. “Considerações genéricas sobre otimização de sistemas. Relatório Técnico 2, Dept. de Matemática e Informática, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1973.
- [4] J. M. Barreto. “Conexionismo e a Resolução de Problemas”. Dissertação para concurso para professor titular, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Informática e Estatística, Florianópolis, SC, 1996.
- [5] J. M. Barreto, M. Roisenberg, and F. M. de Azevedo. “Developing artificial neural networks for autonomous agents using evolutionary programming”. In *ASC'98 IASTED International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing*, p. 283--286, Cancun, Mexico, May 1998.
- [6] A. G. Barto. “Connectionist learning for control”. In W. T. Miller III, R. S. Sutton, and P. J. Werbos, editors, *Neural Networks for Control*, p. 5--58. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1990.
- [7] R. D. Beer, H. J. Chiel, and L. S. Sterling. “A biological perspective on autonomous agent design”. In P. Maes, editor, *Designing Autonomous Agents: Theory and Practice from Biology to Engineering and Back*, A Bradford Book, p.169--186. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1990.
- [8] R. P. Bonasso. “Underwater experiments using a reactive system for autonomous vehicles”. In *Proc. of the Ninth National (USA) Conference on Artificial Intelligence*, p. 794--800, Menlo Park, CA, July 1991. The MIT Press.
- [9] P. Bourguine and F. J. Varela. “Introduction: Towards a practice of autonomous systems”. In F. J. Varela and P. Bourguine, editors, *Proc. of the First European Conference on Artificial Life*, A Bradford Book, p. xi--xvii, Paris, Dec. 1991. The MIT Press.
- [10] R. A. Brooks. “Artificial life and real robots”. In F. J. Varela and P. Bourguine, editors, *Proc. of the First European Conference on Artificial Life*, A Bradford Book, p. 3--10, Paris, Dec. 1991. The MIT Press.



- [11] R. A. Brooks. "A robot that walks; emergent behaviors from a carefully evolved network". A. I. Memo 1091, Massachusetts Institute of Technology, Artificial Intelligence Laboratory, Feb. 1989.
- [12] F. Córdova et al. "Alternativas de automatización para el guiado autónomo de vehículos cargadores frontales en una mina subterránea". *Automática e Innovación*, 1(2):67--73, 1994.
- [13] L. P. Kaelbling. "Learning in Embedded Systems". A Bradford Book. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1993.
- [14] C. Langton et al. "Artificial Life II". Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1991.
- [15] A. Laprade and G. Lambert-Torres. "Controle de um veículo utilizando a teoria dos conjuntos nebulosos". In *Anais do 1. Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, p. 166--174, Rio Claro, SP, 1993.
- [16] A. Leite, J. B. da Mota Alves, e M. F. Resende. "Sistema para depuração de um robô móvel autónomo inteligente". In *Anais do 1. Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, p. 175--184, Rio Claro, SP, 1993.
- [17] L. Lin. "Programming robots using reinforcement learning and teaching". In *Proc. of the Ninth National (USA) Conference on Artificial Intelligence*, p. 781--786, Menlo Park, CA, July 1991. The MIT Press.
- [18] P. Maes. "Learning behavior networks from experience". In F. J. Varela and P. Bourguine, editors, *Proc. of the First European Conference on Artificial Life*, A Bradford Book, p. 48--58, Paris, Dec. 1991. The MIT Press.
- [19] N. Rashevsky. "The principle of adequate design". In R. Rosen, editor, *Foundations of Mathematical Biology vol III: Supercellular Systems*, p. 143--175. Academic Press, New York and London, 1973.
- [20] M. Roisenberg, J. M. Barreto, and F. M. de Azevedo. "Biological inspirations in neural network implementations of autonomous agents". In D. L. Borges and C. A. A. Kaestner, editors, *Advances in artificial intelligence : proceedings / 13th Brazilian Symposium on Artificial Intelligence*, number 1159 in *lecture notes in computer science*; *Lecture notes in artificial intelligence*, p. 211--220. Springer-Verlag, Berlin, Oct. 1996.
- [21] M. Roisenberg, J. M. Barreto, and F. M. de Azevedo. "Specialization versus generalization in neural network learning for ballistic interception movement". In *MELECON'96 IEEE Mediterranean Eletrotechnical Conference*, p. 627--630, Bari, Italy, May 1996.
- [22] M. Roisenberg, J. M. Barreto, e F. M. de Azevedo. "Modeling behaviors with artificial neural networks". In *WRI'97 Intelligent Robotics Workshop*, p. 34--45, Brasília, DF, Agosto. 1997.
- [23] M. Roisenberg, J. M. Barreto, and F. M. de Azevedo. "Neural network classification based on the problem". In *IJCNN IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, Anchorage, Alaska, May 1998.
- [24] M. Roisenberg, J. M. Barreto, and F. M. de Azevedo. "On a formal concept of autonomous agents". In *AI'98 IASTED International Conference on Applied Informatics*, Garmisch-Paterkirchen, Germany, Feb. 1998.

[25] M. Roisenberg. “Emergência da Inteligência em Agentes Autônomos através de Modelos Inspirados na Natureza”. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Elétrica. Grupo de Pesquisas em Engenharia Biomédica. Universidade Federal de Santa Catarina, Agosto, 1998.

[26] R. Rosen. “Is there a unified mathematical biology?” In R. Rosen, editor, Foundations of Mathematical Biology vol III: Supercellular Systems, p. 361--393. Academic Press, New York and London, 1973.

[27] B. Webb and T. Smithers. “The connection between ai and biology in the study of behavior”. In F. J. Varela and P. Bourguin, editors, Proc. of the First European Conference on Artificial Life, A Bradford Book, p. 421--428, Paris, Dec. 1991. The MIT Press.

Florianópolis, abril de 1999.

Mauro Roisenberg