

# DESVIO DE OBSTÁCULOS PARA MICRO ROBÔS MÓVEIS UTILIZANDO CAMPO POTENCIAL

MARCELO ROSENTHAL DE SOUZA GOMES AND MÁRIO FERNANDO MONTENEGRO CAMPOS

*VERLab – Laboratório de Visão Computacional e Robótica*  
*Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais*  
*Av. Antônio Carlos 6627, 31270-010, Belo Horizonte, MG, Brasil*  
*E-mails: marcelog@dcc.ufmg.br, mario@dcc.ufmg.br*

**Resumo**— Este trabalho apresenta soluções que otimizam o planejamento de trajetórias de micro-robôs móveis utilizados em um projeto de futebol de robôs. Um ambiente desse tipo, caracterizado por uma grande dinâmica de seus elementos, apresenta dificuldades para planejamento de trajetórias, como desvio de obstáculos em tempo real. Para que sejam estipuladas trajetórias livres de colisões, propõe-se a utilização do método campo potencial. Esse atribui pólos atrativos (valores baixos) a posições alvo, e repulsivos (valores altos) a obstáculos, gerando um mapa de obstáculos. Um algoritmo de busca obtém um caminho ótimo a partir desse mapa.

**Abstract**— This paper presents solutions that improve the path planning for autonomous mobile robots in a Robot Soccer environment. In such a dynamic domain, real-time collision avoidance becomes one of the main issues. A collision avoidance approach, based on the artificial potential field concept is proposed. The goal is seen as an attractive pole, while the obstacles represent repulsive poles. The method relies on an obstacle map, which is built based on the current configuration of the environment, given by a real-time video system.

**Key Words**— robot soccer, path planning, collision avoidance, potential field, obstacle map

## 1 Introdução

O futebol de robôs é uma competição em que micro-robôs móveis disputam partidas de futebol. Existem várias categorias diferentes dentro da modalidade, que se distinguem pelo tamanho e formato do campo e dos robôs. Em termos gerais, cada equipe é constituída de três robôs, com formato cúbico, de arestas medindo 7,5 cm, e construídos a partir de componentes relativamente simples. Uma câmera de vídeo, posicionada 2m acima do nível do campo, capta imagens continuamente, as quais são enviadas para um PC, e processadas em tempo real utilizando técnicas de visão computacional. Essas imagens são capturadas a uma taxa de 45 quadros por segundo. Cada um dos elementos presentes sobre o campo de jogo (robôs e bola) é identificado por uma cor específica, o que permite conhecer, a todo instante, a sua posição em relação a um determinado sistema de coordenadas (x,y). Essas informações, relativas às coordenadas de cada um dos componentes da partida, são utilizadas como dados de entrada de um programa responsável pelo controle e estratégia, que determina as ações a serem realizadas pelos robôs de um certo time. Feito isso, são enviados sinais via rádio para cada um dos robôs, os quais são devidamente captados e transformados em comandos de velocidade para os servos-motores que os acionam. Dessa forma, os robôs entram em movimento, a fim de realizar uma estratégia pré-estabelecida (Campos et al., 1998)(Pereira, 2000) (Gomes et al., 2000).

Uma das questões que despertam atenção nesse tipo de ambiente é o problema do planejamento de trajetórias dos robôs. Quando um deter-

minado robô recebe a missão de se deslocar de um ponto inicial a outro final, ele deve, além de controlar seu movimento corretamente, desviar-se de eventuais obstáculos. Levando-se em consideração que o ambiente em questão é dinâmico, percebe-se que não há meios de um robô aprender onde se localizam os obstáculos (outros robôs), visto que esses se encontram em constante movimento.

A proposta deste trabalho é prover soluções que possam otimizar o planejamento das trajetórias dos robôs, tratando de forma eficiente o problema de desvio de obstáculos em tempo real. Será empregado um método denominado *Campo Potencial*, que modela o ambiente como um campo de forças, sendo a posição alvo um pólo atrativo e os obstáculos pólos repulsivos. Isso permite a construção de um mapa de obstáculos, que nada mais é do que a representação do campo de jogo conjuntamente com os seus obstáculos. Então, utilizando-se o algoritmo de busca *Transformada da Distância*, será possível obter, a partir do mapa de obstáculos gerado, um caminho com probabilidade mínima de colisões a ser percorrido por um robô, de modo a atingir uma posição alvo.

## 2 Trabalhos Relacionados

O ambiente dinâmico foi identificado como um problema comum em um universo multi-agente (Mataric, 1996), e uma das possíveis soluções seria o uso de comunicação entre os diversos agentes (Mataric, 1997). Entretanto, no ambiente de futebol de robôs, o uso de comunicação não seria necessariamente benéfico. Cada elemento presente no campo pode obter informações suficientes a res-

peito do estado do jogo, de forma a dispensar informações provenientes de outros agentes. Nesse caso, o uso de comunicação pode acrescentar atrasos à resposta dos robôs aos comandos solicitados (Sen et al., 1994).

Um planejamento de trajetórias de baixo nível baseado em campo potencial, levando em conta que os obstáculos estão em uma posição fixa foi proposto em (Khatib, 1986). No entanto, esse algoritmo não se adequa a ambientes onde coexistem vários agentes em movimento. Já o método histograma de campo vetorial (Borenstein e Koren, 1991) computa um histograma polar unidirecional, o qual é processado para detectar áreas abertas por onde um robô pode transitar. A velocidade desse robô, determinada após a escolha da direção a ser tomada, é proporcional à distância até os obstáculos. Essa metodologia permite deslocamentos tanto em áreas estreitas como largas, porém não leva em consideração que robôs tendem a se deslocar em arcos, ao invés de utilizar linhas retas.

### 3 Metodologia

Ao se planejar uma trajetória livre de colisões de uma determinada posição inicial até um ponto final, geralmente emprega-se uma metodologia dotada de duas partes principais: construção de uma estrutura de dados que represente a estrutura do ambiente e pesquisa sobre a mesma de forma a obter um caminho livre de colisões (Kim e Chung, 1996). Para representar a estrutura do ambiente será utilizado um mapa de obstáculos, construído a partir do campo potencial. Já para realizar uma busca sobre esse mapa, determinando o melhor caminho a ser utilizado na trajetória, empregar-se-á o algoritmo *Transformada da Distância*.

#### 3.1 Geração do Mapa de Obstáculos

A construção do mapa de obstáculos é um processo constituído dos seguintes passos:

1. Decomposição do ambiente (campo de futebol de robôs) em uma matriz de valores inteiros, na qual quanto menor o valor de uma determinada posição, menor a probabilidade de ocorrência de um obstáculo.
2. Cada obstáculo ocupa uma ou mais posições dessa matriz.
3. A matriz tem suas posições inicializadas com o valor 0 (zero).
4. O sistema de visão é responsável por detectar as coordenadas dos obstáculos e informá-las a uma subrotina que gerencia o mapa. Essa, por sua vez, converte essas coordenadas em posições (linha,coluna) da matriz, atribuindo-lhes um valor alto.

5. Uma função linear de decrescimento é utilizada para atribuir valores a cada uma das quatro posições vizinhas de um obstáculo. O processo se repete recursivamente para os vizinhos desses vizinhos, até que o valor 0 (zero) seja obtido.

As figuras 1 e 2 exemplificam esse processo:

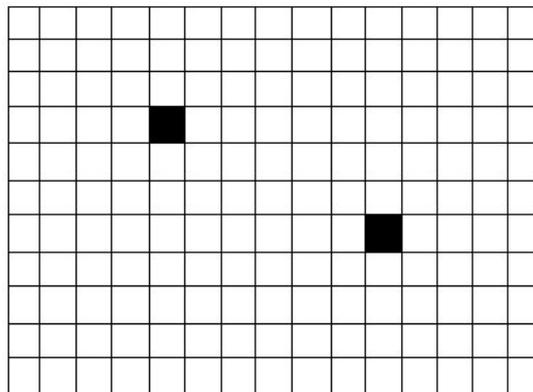


Figura 1. Configuração do campo em um determinado instante de tempo. Os quadrados escuros representam os obstáculos

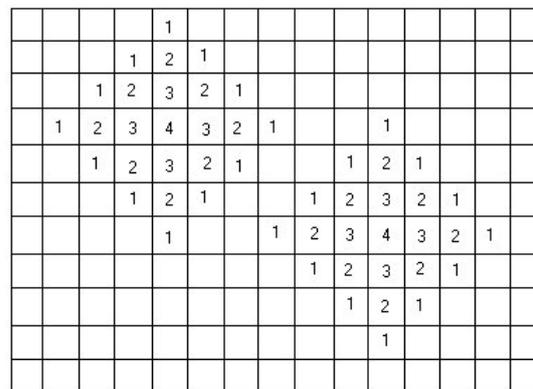


Figura 2. Mapa de obstáculos gerado a partir da configuração mostrada anteriormente

#### 3.2 Transformada da Distância e Geração de Trajetória

O algoritmo *Transformada da Distância* é um método muito utilizado para determinação de caminhos mínimos em grafos. Esse algoritmo faz a propagação da distância de uma determinada posição alvo até cada uma das demais posições acessíveis dentro de um contexto. Dados o mapa de obstáculos gerado a partir da configuração corrente do ambiente, e a posição que representa o alvo a ser alcançado, o método fornece um caminho viável de qualquer posição do campo até o dado destino. Um novo mapa, semelhante ao mapa de obstáculos, é gerado da seguinte forma:

1. O campo é novamente decomposto em uma matriz de valores inteiros, sendo cada

posição dessa matriz inicializada com um valor alto.

- Em seguida, as coordenadas do ponto a ser alcançado, referentes à posição da bola, são obtidas utilizando o sistema de visão, e informadas à subrotina que trata da transformada da distância. Essas coordenadas são convertidas em uma posição da matriz (linha/coluna), à qual é atribuído o valor 1(um).
- Cada posição da matriz, a partir da posição destino, recebe o valor correspondente ao resultado da seguinte expressão: mínimo valor entre cada um de seus quatro vizinhos (posições perpendiculares), mais o valor correspondente do mapa de obstáculos (mesma linha e coluna), mais o valor 1(um).

Uma vez construído esse novo mapa, torna-se possível traçar um caminho a partir de uma posição inicial qualquer, visando atingir a posição alvo. Tomando como referência inicial a posição de um determinado robô, obtida pelo subsistema de visão do programa, e devidamente convertida em coordenadas da matriz que representa o campo, escolhe-se, entre suas oito posições vizinhas (incluindo diagonais), aquela que possui menor valor. Essa posição é dada como alvo intermediário para o robô, que deve se deslocar até atingí-la. O processo é repetido sucessivamente, até que o alvo final seja atingido.

As figuras seguintes ilustram toda a metodologia descrita, utilizando o mapa de obstáculos gerado na seção anterior:

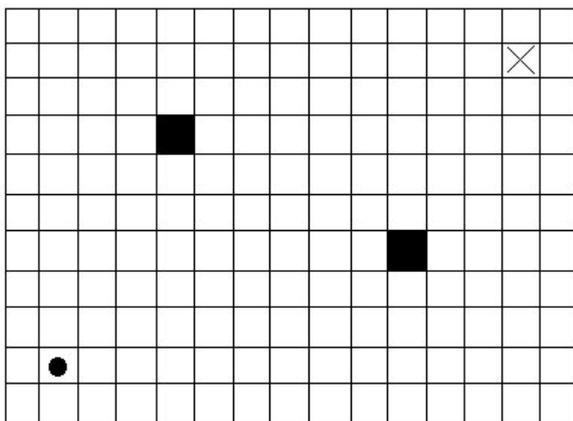


Figura 3. Configuração do campo acrescida das posições inicial e final da trajetória, descritas por um círculo escuro e um 'x', respectivamente

11	12	13	14	15	16	17	17	17	18	19	20	21	22	22
10	11	12	13	16	20	18	16	16	17	18	19	20	21	22
9	10	12	15	19	21	18	15	15	16	17	18	19	20	21
8	9	11	15	20	17	14	14	14	15	17	19	20	21	22
7	6	8	11	15	13	12	12	13	15	18	21	21	21	21
6	5	6	8	11	15	10	11	13	16	20	24	23	20	20
5	4	5	6	8	8	9	11	14	19	24	23	20	19	19
4	3	4	5	6	7	8	9	11	14	19	19	17	17	18
3	2	3	4	5	6	7	8	9	11	11	15	15	16	17
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	14	15	16
3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Figura 4. Matriz gerada após o cálculo da transformada da distância

11	12	13	14	15	16	17	17	17	18	19	20	21	22	23
10	11	12	13	16	20	18	16	16	17	18	19	20	21	22
9	10	12	15	19	21	18	15	15	16	17	18	19	20	21
8	9	11	15	20	17	14	14	14	15	17	19	20	21	22
7	6	8	11	15	13	12	12	13	15	18	21	21	21	21
6	5	6	8	11	15	10	11	13	16	20	24	23	20	20
5	4	5	6	8	8	9	11	14	19	24	23	20	19	19
4	3	4	5	6	7	8	9	11	14	19	19	17	17	18
3	2	3	4	5	6	7	8	9	11	11	15	15	16	17
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	14	15	16
3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Figura 5. Trajetória final que deve ser traçada para se atingir o alvo

A figura abaixo mostra uma representação gráfica do Campo Potencial gerado pela configuração de ambiente mostrada anteriormente:

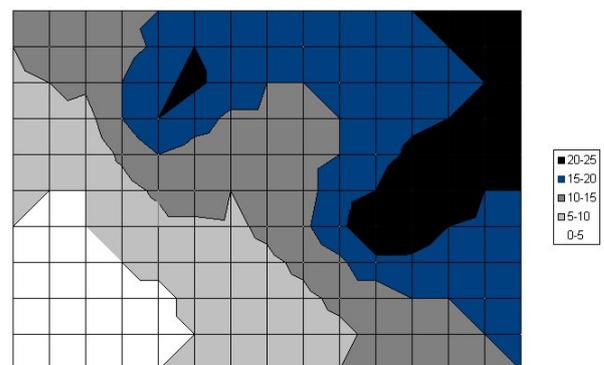


Figura 6. Representação do Campo Potencial. Os valores mais escuros indicam os pontos mais repulsivos. Quanto mais claro o ponto, maior a atração exercida.

## 4 Resultados Experimentais

Nesta seção, são propostos alguns testes nos quais um robô tem a tarefa de atingir um determinado alvo desviando-se de alguns obstáculos, o que coloca em prática a metodologia proposta anteriormente. Será utilizado o ambiente de pesquisa da equipe de futebol de robôs *Mineirosot*, pertencente ao laboratório (VerLab). Uma câmera de vídeo, posicionada acima do campo de futebol, fornece em tempo real as posições de todos os componentes presentes, informações essas que são utilizadas pelo programa de controle dos robôs. A esse programa foram acrescentadas as rotinas que implementam o método do campo potencial, como por exemplo as funções de geração e manipulação do mapa de obstáculos. A seguir são apresentadas algumas situações, nas quais o robô atinge sua posição destino (a bola), evitando colisões durante sua trajetória.

### 4.1 Experimento 1

A figura abaixo mostra a configuração inicial do ambiente neste primeiro teste.

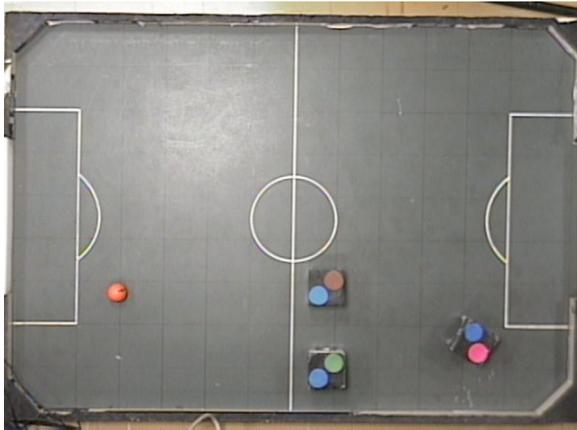


Figura 7. Configuração inicial do ambiente

Podem ser visualizados três robôs, identificados por um par de cores sobre suas superfícies, e a bola, de cor alaranjada. O robô *Limão*, que possui as cores azul e rosa, tem o objetivo de atingir a bola, gerando uma trajetória livre de colisões com os demais robôs. O sistema de visão fornece imagens a uma frequência aproximada de 45 quadros por segundo. A cada nova imagem recebida, um novo mapa de obstáculos é gerado, de forma a considerar comportamentos dinâmicos dos obstáculos. A figura seguinte mostra a trajetória descrita pelo robô:

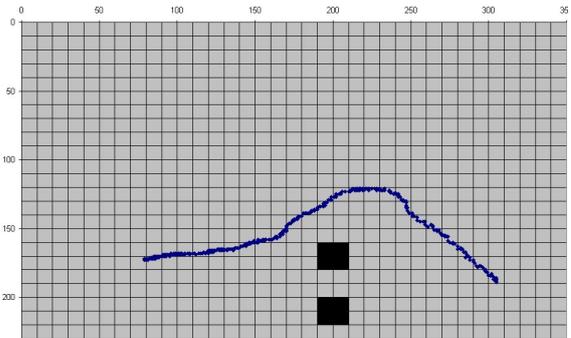


Figura 8. Caminho percorrido pelo robô. O gráfico acima possui mesma orientação da figura anterior, onde a origem corresponde ao canto superior esquerdo do campo de futebol

### 4.2 Experimento 2

O procedimento adotado neste segundo teste é idêntico ao utilizado no teste anterior, diferindo apenas na disposição inicial dos seus componentes, como pode ser visualizado na figura abaixo.

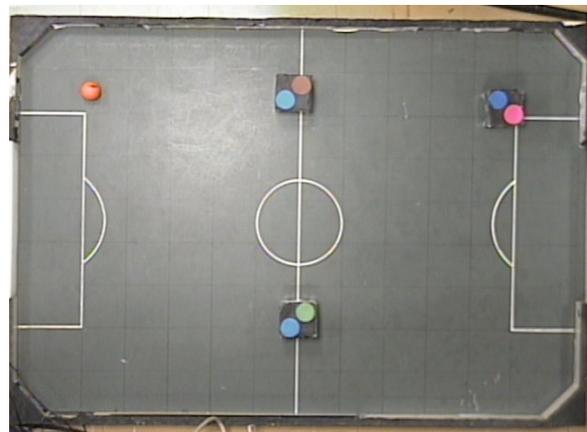


Figura 9. Configuração inicial do ambiente

O caminho percorrido pelo robô *Limão* até atingir a posição onde se localiza a bola pode ser visto na figura que se segue:

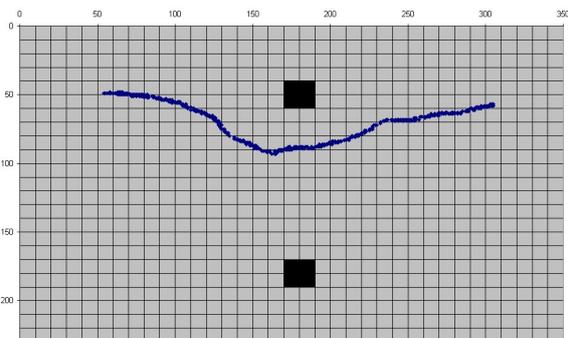


Figura 10. Caminho percorrido pelo robô *Limão*.

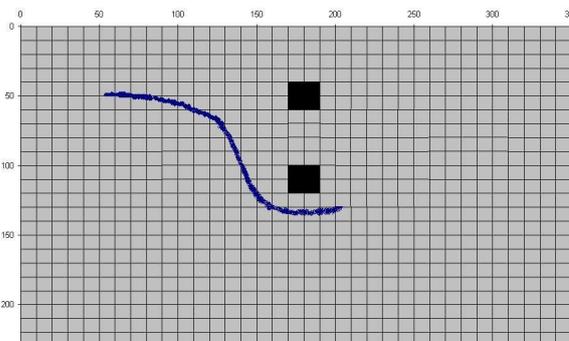


Figura 12. Robô *Limão* desvia-se dos obstáculos encontrados.

### 4.3 Experimento 3

Os dois procedimentos de teste mostrados anteriormente ilustram o funcionamento do método *Campo Potencial* aplicado ao futebol de robôs, mas levando em consideração apenas ambientes estáticos. Será mostrado neste experimento a aplicação do método em uma situação dinâmica.

A configuração inicial do ambiente é a mesma utilizada no Experimento 2, e ilustrada pela Figura 9. A diferença deste teste em relação aos anteriores é que a partir do momento que o robô *Limão* (cores azul e rosa) começa a se movimentar, ocorre simultaneamente o movimento do robô *Gelo* (cores azul e marrom). A cada novo quadro capturado pela câmera de vídeo, um novo mapa de obstáculos é gerado, levando em consideração a configuração instantânea do ambiente, o que garante a não ocorrência de colisões. A trajetória percorrida pelos robôs é mostrada pela sequência de gráficos abaixo:

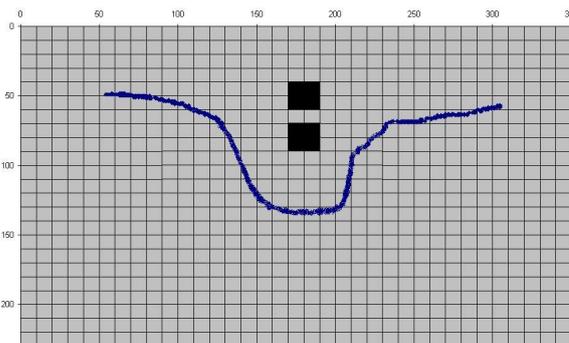


Figura 13. Caminho final percorrido.

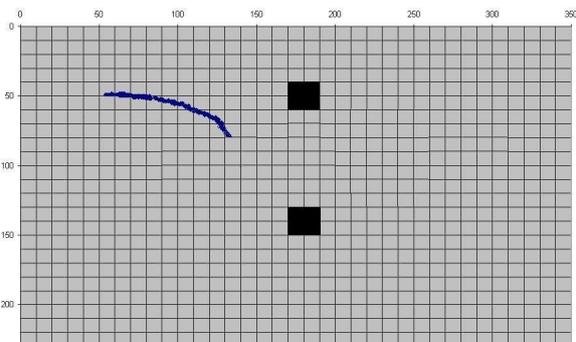


Figura 11. Robô *Limão* percorre um terço da distância total. Robô *Gelo* se aproxima, impedindo o caminho mais provável.

## 5 Conclusão

Este trabalho apresentou a aplicação de um método de desvio de obstáculos em tempo real para micro robôs móveis, utilizado pela equipe de futebol *Mineirosot*. O *Campo Potencial* mostrou uma eficiência satisfatória, além de possuir uma implementação relativamente simples, quando comparado a outras abordagens. A utilização dessa metodologia garante um diferencial aos robôs do time de futebol, visto que o planejamento de trajetórias como um todo é modificado, tornando-se mais preciso. Como direções futuras, pretende-se fazer um estudo a respeito do impacto da implementação dessa metodologia sobre o desempenho do programa, investigando se essa funcionalidade adicional aumenta significativamente o tempo de resposta dos robôs. Além disso, será testada a possibilidade da existência de mínimos locais indesejados, que poderiam fazer o robô oscilar em torno de um certo ponto, impedindo-o de chegar ao alvo determinado.

## Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, especialmente aos cole-

gas do VerLab. Agradeço também à PRO-GRAD/UFMG pelo apoio financeiro: PAD-48/2001.

### Referências Bibliográficas

- Borenstein, J. e Koren, Y. (1991). The vector field histogram - fast obstacle avoidance for mobile robots, *IEEE Transactions on Robotics and Automation* pp. 278–288.
- Campos, M., Anício, M., Carvalho, M., Dias, R., A.Hartmann, Nagem, D., V.H.A. Oliveira, E. O., Pereira, G., Ribeiro, A., Sanches, F. e E.S.Oliveira (1998). Mineirosot - the development of a centralized control set of soccer-playing micro-robots, *Proceedings of FIRA Robot World Cup, (Paris, France)*, pp. 57–62.
- Gomes, M., Alvarenga, R. e Braga, R. (2000). Controle e desenvolvimento de robôs móveis, *Relatório - programa de aprimoramento discente(pad)*, UFMG.
- Khatib, O. (1986). Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots, *The International Journal of Robotics Research* 5(1): 90–98.
- Kim, D.-Y. e Chung, M. J. (1996). Path planning for multi-mobile robots in the dynamic environment, *1996 Micro-Robot World Cup Soccer Tournament Proceedings*, pp. 127–132.
- Mataric, M. (1996). Using communication to reduce locality in distributed multi-agent learning, *Technical report*, Brandeis University.
- Mataric, M. (1997). Reinforcement learning in the multi-robot domain, *Autonomous Robots* 4(1): 73–83.
- Pereira, G. A. S. (2000). *Identificação e controle de micro-robôs móveis*, Master's thesis, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia Elétrica, UFMG, Belo Horizonte - MG Brasil.
- Sen, S., Mahendra, S. e Hale, J. (1994). Learning to coordinate without sharing information, *Proceedings of the Twelfth National Conference on Artificial Intelligence*, pp. 426–431.