

# **VISÃO OMNIDIRECIONAL APLICADA À NAVEGAÇÃO DE ROBÔS MÓVEIS INDUSTRIAIS**

## **Mário Luiz Tronco**

Universidade Estadual Paulista – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas  
Departamento de Ciências de Computação e Estatística - DCCE – IBILCE - UNESP  
R. Cristóvão Colombo, 2265 – Jd Nazareth - CEP 15054 – 000 – São José do Rio Preto - SP  
Email: [mariot@dcce.ibilce.unesp.br](mailto:mariot@dcce.ibilce.unesp.br)

## **Arthur José Vieira Porto**

Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Engenharia Mecânica – SEM – EESC - USP  
Av. Trabalhador São-Carlense, 400 – Centro – CEP 13566-590 – São Carlos - SP  
Email: [ajvporto@sc.usp.br](mailto:ajvporto@sc.usp.br)

## **Felipe Alves Cavani**

Universidade Estadual Paulista – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas  
Departamento de Ciências de Computação e Estatística - DCCE – IBILCE - UNESP  
R. Cristóvão Colombo, 2265 – Jd Nazareth - CEP 15054 – 000 – São José do Rio Preto - SP  
Email: [fcavani@dcce.ibilce.unesp.br](mailto:fcavani@dcce.ibilce.unesp.br)

**Resumo.** *Diversas técnicas vêm sendo propostas e implementadas para resolver o problema da navegação autônoma de Robôs Móveis em ambientes controlados. Sistemas de visão artificial, em conjunto com outros sensores são ferramentas poderosas, as quais fornecem informações detalhadas do meio em que o Robô está se movimentando e podem ser utilizados para fornecer dados de controle ao sistema de navegação. A principal limitação de tais sistemas é a complexidade computacional para trabalhar com estas informações em tempo real. Sistemas de Visão Omnidirecional, no entanto, apresentam-se como sistemas apropriados às tarefas de tomada de decisão em tempo real, provendo informações a respeito do ambiente de trabalho do robô com uma vista em 360° do mesmo. O fator limitante para o uso de tais sistemas em pequenos veículos é o alto custo das câmeras e do espelho convexo utilizados. O presente artigo apresenta uma alternativa para superar tal limitação, utilizando uma câmera de baixo custo (WebCam) e um espelho construído em metal polido (espelho cônico), sob uma Plataforma LINUX, garantindo a portabilidade da solução em um ambiente de código aberto. O sistema proposto vem sendo implementado na Plataforma de Robô Móvel Autônomo do Laboratório de Automação e Computação Evolutiva – LACE, do Departamento de Ciências de Computação e Estatística da UNESP de São José do Rio Preto.*

**Palavras-chave:** *Robôs Móveis Autônomos, Omini-Vision, Redes Neurais Artificiais, Visão de Robôs.*

## INTRODUÇÃO

Para realizar a exploração em um determinado ambiente, é mais seguro para um Robô Móvel poder retornar através do mesmo caminho de exploração no qual ele originalmente trafegou. Durante seu percurso, ele pode realizar as tarefas de coleta de informações necessárias em sua tarefa exploratória. Diferentes sensores, tais como lasers, sonares ou sensores de proximidade podem ser utilizados para prover informações ao Robô que permitam ao mesmo se auto-localizar em relação ao ambiente. A varredura de uma grande área do ambiente com uma câmera pode ser realizada através de duas abordagens: utilizando uma câmera do tipo pan-tilt ou utilizando uma superfície omnidirecional de reflexão (FRANZ, 1998; WAXMAN et al., 1987; YAGI et al., 1995; YAGI et al., 1998; LIN et al., 1998). Em uma imagem omnidirecional, a vantagem de capturar uma grande área em um único instantâneo é contrabalanceada por distorções geométricas introduzidas através da projeção omnidirecional. Em função destas características, um sistema de visão omnidirecional normalmente não é empregado para o reconhecimento de objetos e sim para capturar informações do meio, as quais estão relacionadas às imagens obtidas.

Para a navegação de Robôs Móveis, várias tarefas específicas são essenciais. O robô deve ser capaz de sensorar seu ambiente e construir uma representação local que seja suficiente em detalhes e precisão para permitir ao mesmo a escolha de caminhos de movimentação. O robô deve também ser capaz de se localizar, ou seja, de determinar sua posição e orientação no ambiente e mapear esta informação em sua representação local e de sua vizinhança. O robô pode então se movimentar rumo às suas posições metas, detectando e evitando obstáculos estacionários e móveis (BARTH & BARROWS, 2003). Uma câmera tradicional, alinhada com o eixo de deslocamento não é suficiente para a navegação de veículos com capacidade de deslocamento em diversas direções e de construção de representações locais e de localização dentro do ambiente. Para tais tarefas, o uso de um sensor que produza imagens panorâmicas, ou seja, imagens de 360° do ambiente simplifica a tarefa de navegação e proporciona informações mais precisas para o controle do veículo (YAGI et al., 2003, ISHIGURO et al., 2003; MATSUMOTO et al., 2003). O uso de tais sistemas, empregando visão omnidirecional, em veículos autônomos (robôs autônomos) vem sendo proposto mas são poucas as plataformas implementadas no Brasil. Este trabalho contempla um sistema deste tipo e poderá, após concluída sua implementação, proporcionar uma plataforma de testes para novas abordagens e implementações nesta área.

## 2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O Sistema de Navegação descrito no presente trabalho, baseado em visão omnidirecional, foi implementado em uma Plataforma de robô móvel autônomo, do Laboratório de Automação e Computação Evolutiva - LACE – do Departamento de Ciências de Computação e Estatística - DCCE – IBILCE – UNESP. Este veículo tem como controlador de bordo um Microcomputador IBM PC 486 com Sistema Operacional LINUX, o qual, via Rádio Modem, conecta-se a um Microcomputador Gerente, como mostrado na Flg. (1), a seguir.

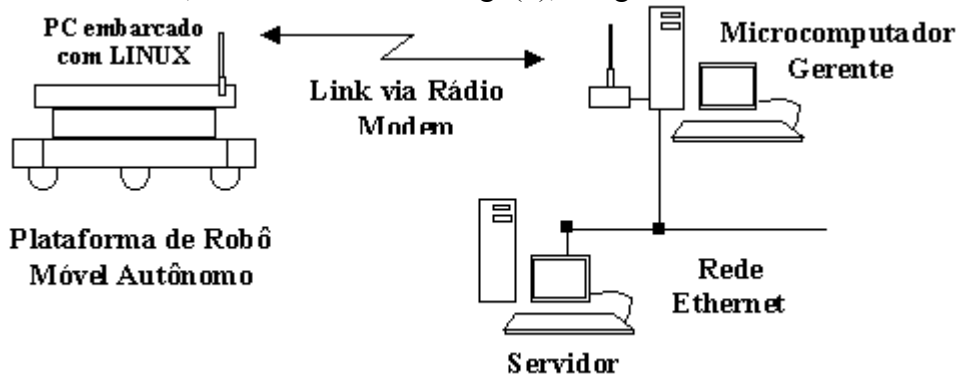


Figura 1. Plataforma de Robô Autônomo do LACE – DCCE – IBILCE – UNESP.

Na Fig. (2), a seguir, são mostrados detalhes da implementação do veículo.

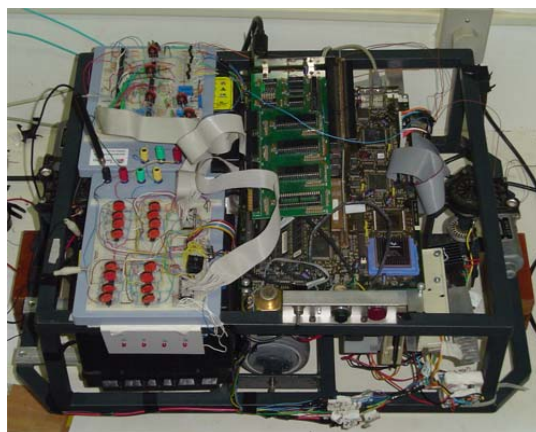


Figura 2. Foto da Plataforma de Veículo Autônomo do LACE.

Baseado nesta Plataforma, foi desenvolvido um sistema que, utilizando visão omnidirecional, fornece comandos para a navegação autônoma do veículo. Este sistema é composto por diversos módulos, como mostrado na Fig. (3), a seguir: Módulo de Visão Omnidirecional, Módulo de Pré-Processamento, Módulo de Classificação e Módulo de Correção de Trajetória. A imagem formada no Módulo de Visão Omnidirecional é enviada ao Módulo de Pré-Processamento, onde é distorcida e simplificada (comprimida). Após o pré-processamento, a imagem resultante é entregue ao Módulo de Classificação, onde uma Rede Neural classifica os dados recebidos. De posse dos dados obtidos da Rede Neural, o Módulo de Correção de Trajetória atua no Controlador do Veículo, permitindo alterações da trajetória para a navegação seguindo um caminho pré-estabelecido. O Sistema de Navegação atua em conjunto com o Módulo de Controle do Veículo (que opera baseado em uma coleção de sensores), fornecendo dados que poderão ou não ser utilizados para a navegação. Esta estratégia aponta para uma Plataforma de Controle Colaborativo, a qual deverá ser contemplada futuramente. A seguir, serão detalhados os Módulos do projeto.

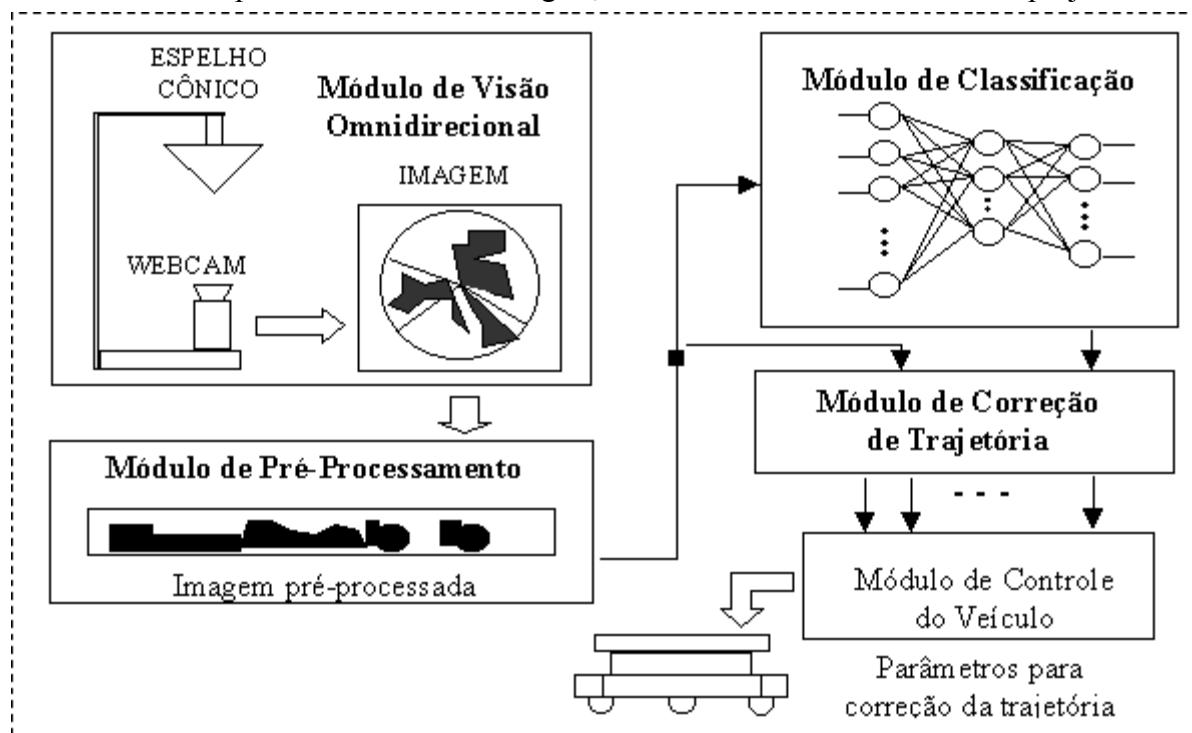


Figura 3. Sistema de Visão Omnidirecional para Robô Autônomo.

## 2.1 Módulo de Visão Omnidirecional

O Módulo de Visão Omnidirecional utiliza uma Câmera de baixo custo (WebCam) e um espelho cônico, como mostrado Fig. (4), a seguir.

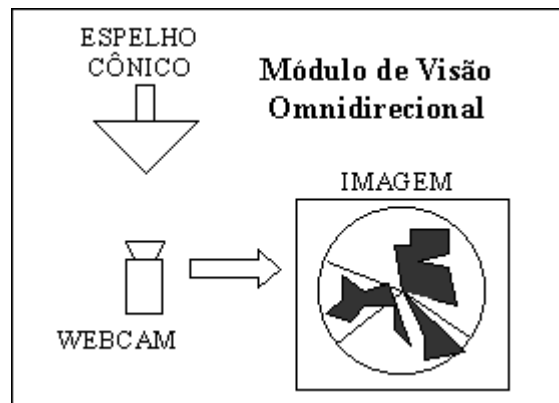


Figura 4. Módulo de Visão Omnidirecional.

O uso do espelho cônico traz algumas vantagens em relação a outros espelhos com curvaturas radiais (LIN & BAJCSY, 2001). Os espelhos com seção transversal curva produzem distorções radiais, as quais são proporcionais ao raio de curvatura do espelho. Como o espelho cônico tem curvatura radial zero, estas distorções são evitadas. Espelhos com seção transversal curva realçam os objetos refletidos no centro do espelho, tipicamente a câmera ou o robô, os quais são de pouco interesse para a tarefa de controle (navegação). Além disso, comprimem a imagem relativa ao horizonte, reduzindo a resolução espacial justamente na área em que há maior interesse. O espelho cônico representa espelhos planos na seção transversal, os quais não distorcem a resolução da imagem na região de interesse. A Fig. (5), a seguir, mostra a geometria de um espelho cônico. A câmera, com um campo de visão  $\phi$  é refletida em dois espelhos planares, criando dois pontos de vista efetivos. Cada ponto de vista tem um campo de visão  $\phi/2$  entre seu raio de projeção central e o raio extremo. O ângulo do cone é de 90 graus para garantir que as duas linhas efetivas de visão (raios centrais 1 e 2) estão orientados diretamente orientados, um em relação ao outro.  $R$  é o raio da base do espelho (SPACEK, 2003).

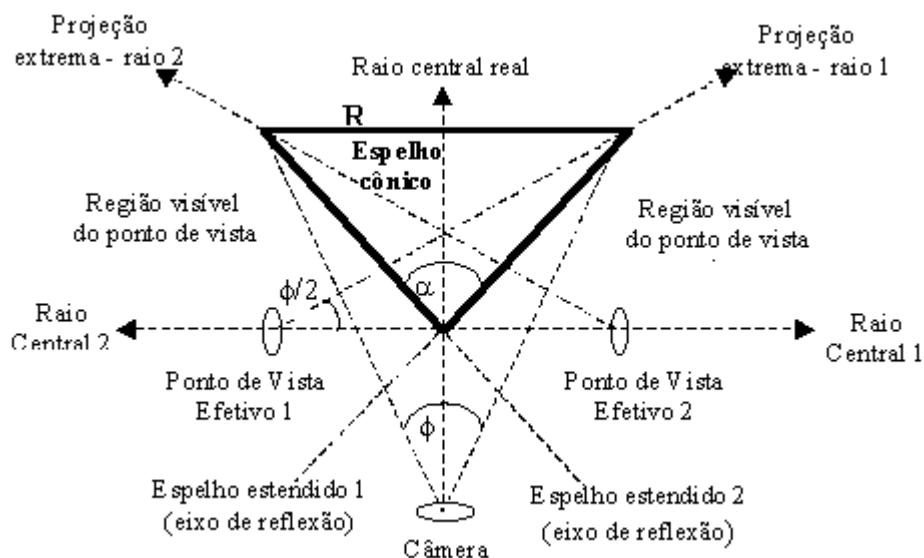


Figura 5. Geometria de um Espelho Cônico (SPACEK, 2003).

Com a câmera posicionada a uma distância  $d$  do espelho, que tem raio e altura  $R$  e ângulo interno de 90 graus, o valor máximo de seu campo de visão é dado por:

$$\phi_{\max} = 2 * \arctan \frac{R}{R + d} \quad (1)$$

A Fig. (6), a seguir, mostra a projeção em perspectiva do espelho cônico. Nesta figura,  $d$  é o raio dos locais associados aos pontos de vista efetivos da câmera e  $d+v$  representa o raio de projeção de um cilindro virtual associado à câmera. Utilizando coordenadas polares  $(r_i, \theta)$  para representar as posições da imagem e as coordenadas cilíndricas associadas  $(r, \theta, h)$  para representar a cena em 3D, tem-se a seguinte relação:

$$h_i = \frac{v \cdot h}{d + r} \quad h_c = \frac{d \cdot h}{d + r} \quad (2)$$

Estes parâmetros serão utilizados pelo Módulo de Pré-Processamento para a geração da imagem a ser reconhecida pelo Módulo de Classificação.

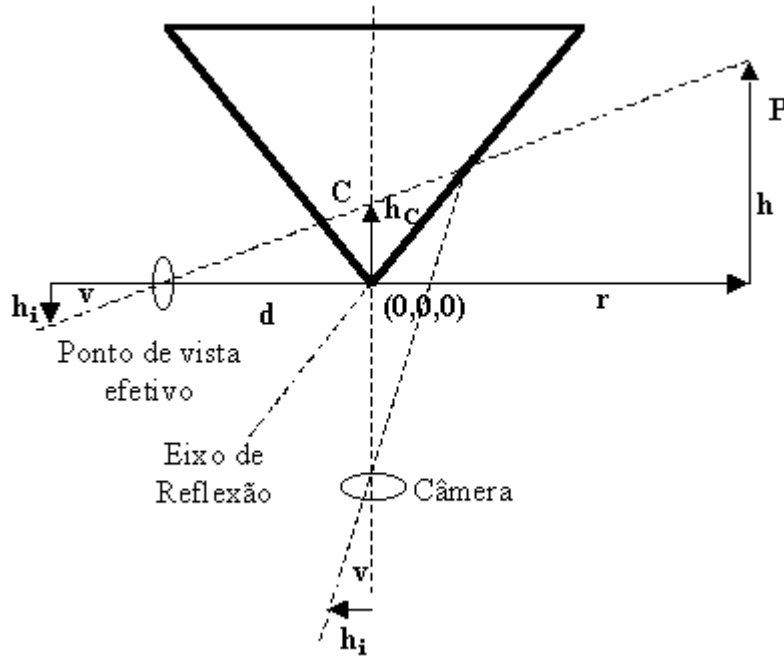


Figura 6. Projeção em um espelho cônico.

## 2.2 Módulo de Pré-Processamento

A função deste módulo é corrigir a imagem obtida do Módulo de Visão Omnidirecional, convertendo-a em um padrão sem distorções e realizar seu pré-processamento, através do uso de um algoritmo de detecção de borda. A correção das coordenadas polares da imagem de entrada (capturada pelo Módulo de Visão Omnidirecional) para as coordenadas  $x, y$  da imagem retangular panorâmica (pretendida) é dada por:

$$x = \frac{x_m}{2\pi} \theta_i \quad y = \frac{y_m}{r_m} h_i \quad (3)$$

onde  $(x_m, y_m)$  são as dimensões desejadas da imagem corrigida,  $r_m$  é o raio do espelho visto na imagem de entrada e  $\theta_i$  é medido em radianos. Será implementado um algoritmo para realizar este mapeamento, da imagem original para a imagem corrigida, o qual utilizará a Transformada Discreta de Cosseno (DCT). Seu uso é necessário em função de melhor desempenho na função de interpolação dos pixels das imagens citadas (SPACEK, 2003). A imagem obtida através do algoritmo de correção (utilizando DCT) é pré-processada, através do uso de um algoritmo de Detecção de Borda. A Fig. (7), a seguir, mostra o funcionamento do Módulo o qual possui: um processo pai, responsável por iniciar os demais *threads* e exibir as imagens, um segundo processo responsável pela captura dos quadros que são armazenados em dois *buffers* disponíveis na câmera e um terceiro processo, responsável pelo processamento da imagem, composto por um *thread* para cada *buffer*. A aquisição é realizada através da API de vídeo LINUX que disponibiliza no espaço de memória da aplicação no formato YUV4:2:0 planar. O tamanho da imagem utilizado é o máximo disponível para essa câmera (640x480).

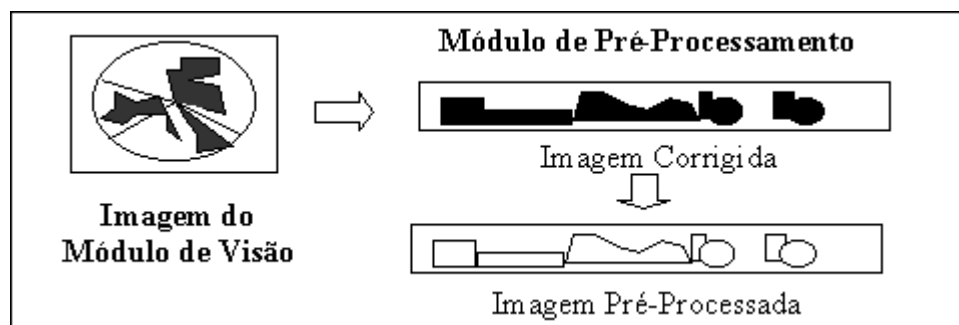


Figura 7. Módulo de Pré-Processamento.

## 2.3 Módulo de Classificação

No Módulo de Classificação, as imagens geradas pelo Módulo de Pré-Processamento são classificadas, resultando em saídas representativas do ambiente em que o veículo está se deslocando. Para realizar esta tarefa, a Rede Neural foi treinada com imagens de pontos conhecidos do ambiente (marcos). O modelo de Rede Neural utilizado foi o GSN (TRONCO, 1999). A Fig. (8), a seguir, mostra esquematicamente o Módulo.

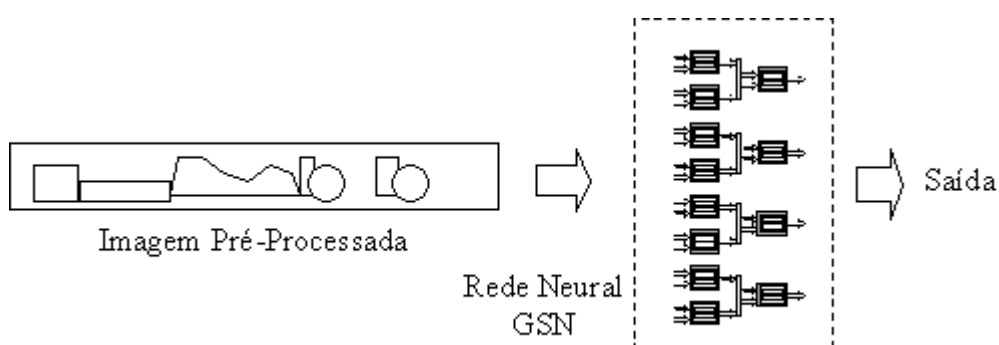


Figura 8. Módulo de Classificação.

A saída da Rede Neural representa o ponto (marco) do ambiente em que o veículo se encontra em um dado instante.

## 2.4 Módulo de Correção da Trajetória

O Módulo de correção de trajetória gera informações, a partir da saída gerada pela Rede Neural, as quais são utilizadas pelo controlador de bordo do veículo para definição das ações de

controle necessárias para que o mesmo se desloque segundo uma trajetória previamente definida (missão definida para o veículo). O objetivo do Módulo é estimar o desvio do veículo, a partir das informações recebidas do Módulo de Classificação, e alterar sua trajetória para que sua meta seja alcançada com sucesso, ou seja, para que o mesmo possa seguir um caminho previamente estabelecido e atingir seu ponto final (destino).

A navegação do robô móvel, utilizando o Sistema de Visão Omnidirecional, é realizada através do uso de mapas. Um mapa é formado por uma seqüência de pontos conhecidos do ambiente, associados a imagens obtidas através do sistema de *omnivision*. No presente projeto, as imagens relativas a pontos conhecidos do ambiente de trabalho do robô são apresentadas à Rede Neural, para treinamento. A Rede Neural é treinada para reconhecer pontos chaves do ambiente. O Módulo de Correção de Trajetória armazena as imagens dos pontos conhecidos pela Rede Neural e as respectivas ações de controle necessárias para alcançar seus vizinhos. Uma vez definido um ponto de origem e um ponto de destino, o Módulo gera a seqüência de Imagens (omni-view sequence) apropriada para a missão definida. A localização inicial do robô é realizada através da captura de uma imagem, via Módulo de Pré-Processamento, e processamento pela Rede Neural. Uma vez definida posição inicial, o robô desloca-se baseado nas ações de controle geradas pelo Módulo de Correção de Trajetória. A implementação da geração da seqüência de imagens e das ações de controle associadas foi baseada no trabalho de Matsumoto (MATSUMOTO et al., 2003). A Fig. (9), a seguir, ilustra o processo de navegação.

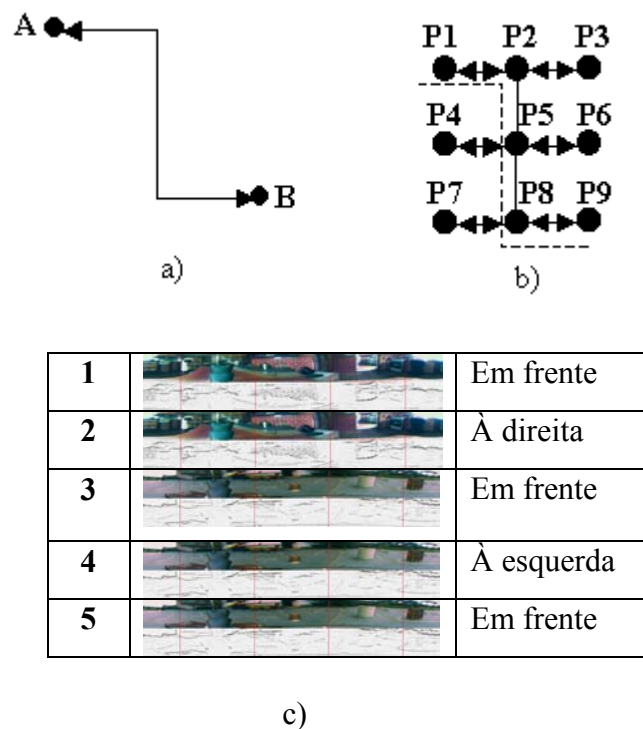


Figura 9 – Modelo de Navegação: a) Trajetória definida; b) Mapa do ambiente e definição dos pontos chave; c) Seqüência de imagens gerada e ações de controle associadas.

### 3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

As Fig. (10), (11) e (12) , a seguir, ilustram resultados experimentais obtidos na implementação do sistema proposto.

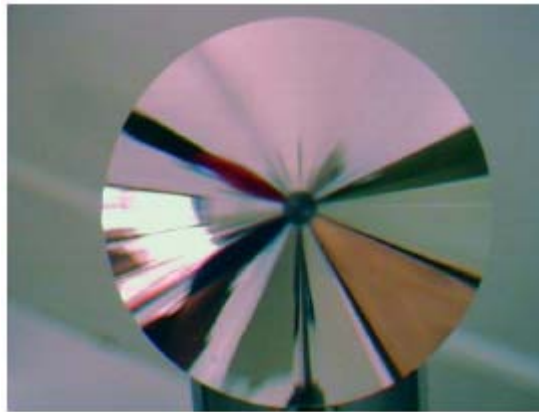


Figura 10. Imagem capturada pelo sistema Omni-Vision.

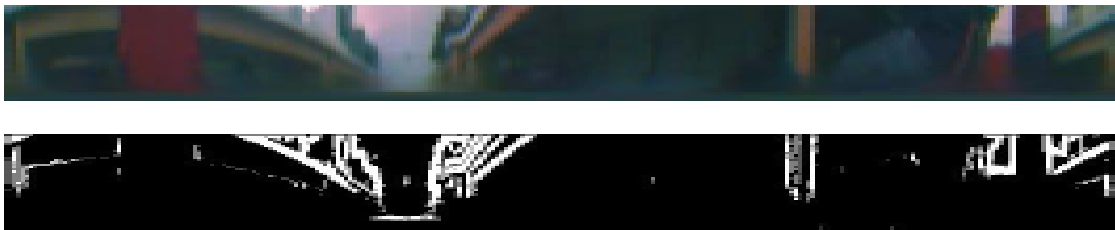


Figura 11 Imagem gerada em um ambiente externo (após pré-processamento) com alguns objetos ao redor da câmera (parte superior) e Contornos gerados pela detecção de borda (parte inferior).

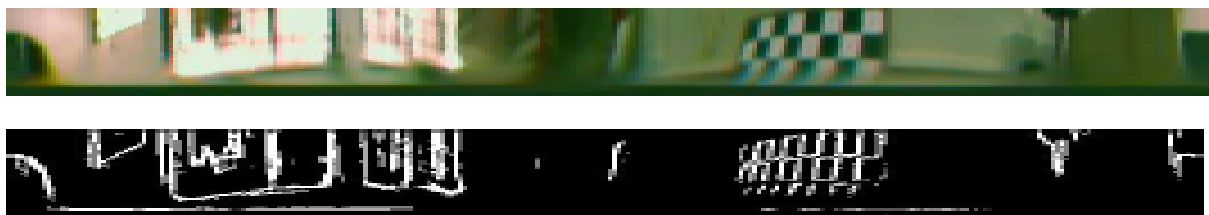


Figura 12. Imagem gerada em um ambiente interno (após pré-processamento), com destaque para a presença de uma porta (parte superior direita) e Contornos gerados pela detecção de borda (parte inferior).

### 3. CONCLUSÕES

Foi descrito um sistema de visão omnidirecional, implementado através de uma WebCam e um espelho cônico, o qual gera imagens panorâmicas do ambiente de trabalho de um robô móvel autônomo. Estas imagens são pré-processadas e classificadas através de uma rede neural artificial, a qual gera informações para um Módulo de Correção de Trajetória, que efetivamente atua no robô, permitindo sua navegação. A Rede Neural foi treinada com imagens representativas do ambiente. O sistema é capaz de se auto-localizar e de seguir um caminho pré-definido. Testes realizados em tarefas de navegação *indoor* demonstram a viabilidade do sistema implementado.



#### 4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FUNDUNESP, pelo apoio financeiro de parte dos módulos desenvolvidos e à MANET, pelo trabalho colaborativo proporcionado.

#### 5. REFERÊNCIAS

- BARTH, J. M.; BARROWS, C. Rapid Omnidirectional vision acquisition using an intelligent linear scanning technique. *Machine Vision and Applications*, 14, pages 85-93, 2003.
- LIN, S.; BAJCSY, R. The single view point cone mirror omni-directional catadioptric system. *ICCV01*, volume 2, pages 102-107.
- SPACEK, L. Omnidirectional Catadioptric Vision Sensor with Conical Mirrors. *Journal of Robotics & Autonomous System*, November, 2003.
- TRONCO, M. L. Sistema de Reconhecimento de Imagens baseado no modelo GSN de Rede Neural. Tese de Doutorado. EESC – USP, 1999.
- MATSUMOTO, Y.; INABA, M.; INOUE, H. View-based navigation using an omniview sequence in a corridor environment. *Machine Vision and Applications*, 14, pages 121-128, 2003.
- ISHIGURO, H.; NG, K. C.; CAPELLA, R.; TRIVEDI, M. M. Omnidirectional image-based modeling: three approaches to approximated plenoptic representations. *Machine Vision and Applications*, 14, pages 94-102, 2003.
- YAGI, Y.; NISHI, W.; BENSON, N.; YACHIDA, M. Rolling and swaying motion estimation for a mobile robot by using omnidirectional optical flows. *Machine Vision and Applications*, 14, pages 112-120, 2003.
- FRANZ, M. O. Learning view graphs for robot navigation. *Autonomous Robots*, 5, 111-125, 1998.
- WAXMAN, A. M.; LeMOIGNE, J. J.; SRINIVASAN, B. A visual navigation system for autonomous land vehicles. *IEEE Journal on Robotics and Automation*, 3(2), pages 124-141, 1987.
- YAGI, Y. N.; NISHIZAWA, Y./ YACHIDA, M. Map based navigation for a mobile robot with omnidirectional image sensor COPIS. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 11, 1995.
- YAGI, Y.; FUJIMURA, S.; YACIDA, M. Route representation for mobile robot navigation by omnidirectional route panorama Fourier transform. Proceedings of IEEE International Conference on Robotics & Automation, Belgium, 1998.
- LIN, L.; HANCOCK, T.; JUDD, J. J. A robust landmark-based system for vehicle location using low-bandwidth vision. *Robotics and Autonomous Systems* 25, pages 19-32, 1998.

### NAVIGATION OF INDUSTRIAL MOBILE ROBOTS USING OMNIVISION

#### Mário Luiz Tronco

Sao Paulo State University – Department of Computer and Statistics Sciences  
R. Cristóvão Colombo, 2265 – Jd Nazareth - CEP 15054 – 000 – São José do Rio Preto - SP  
Email: [mariot@dcce.ibilce.unesp.br](mailto:mariot@dcce.ibilce.unesp.br)

#### Arthur José Vieira Porto

São Paulo University – School of Engineering of Sao Carlos - Mechanical Engineering Department  
Av. Trabalhador São-Carlense, 400 – Centro – CEP 13566-590 – São Carlos - SP  
Email: [ajvporto@sc.usp.br](mailto:ajvporto@sc.usp.br)

**Felipe Alves Cavani**

Sao Paulo State University – Department of Computer and Statistics Sciences

R. Cristóvão Colombo, 2265 – Jd Nazareth - CEP 15054 – 000 – São José do Rio Preto - SP

Email: [fcavani@dcce.ibilce.unesp.br](mailto:fcavani@dcce.ibilce.unesp.br)

**Abstract** *There are several techniques to implement the Navigation of autonomous Mobile Robots in controlled environments. Artificial Vision Systems are powerful tools, which provide detailed information about the environment where the Robot is moving and can be used to supply control actions to the navigation system. The main limitation of such systems is the computational complexity to work with these information in real time. Systems of Omnidirecional Vision, however, are presented as appropriate to real time decision suystems, providing information about the work environment with 360° panoramic images. The limitante factor in using such systems in small vehicles is the high cost of cameras and convex mirror. This work presents an alternative implementation, using a low cost camera (WebCam) and a mirror constructed in polishing metal (conical mirror), under a LINUX Platform.*

**Keywords.** : Autonomous Mobile Robots, Omini-Vision, Artificial Neural Networks, Robot Vision..