

# SISTEMA DE VISÃO ARTIFICIAL BASEADO EM DETECÇÃO DE CORES (PARA SISTEMA DE CONTROLE DE ROBOS CELULARES COM REALIMENTAÇÃO VISUAL)

GABRIEL MATOS \*, MERYELLE MENDONÇA\*, EDUARDO FREIRE\*, JUGURTA MONTALVÃO\*, LEONARDO MATOS†

\*Núcleo de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Sergipe  
Av. Marechal Rondon, S/N, São Cristóvão - Sergipe 49100-000

E-mails: gmatos1983@gmail.com, mery\_ufs@yahoo.com.br, efreire@ufs.br,  
jmontalvao@ufs.br

† Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Sergipe  
Av. Marechal Rondon, S/N, São Cristóvão - Sergipe 49100-000  
E-mail: lnmatos@ufs.br

**Abstract**— This paper presents a proposal of an artificial vision system which is intended to work on cellular robot systems controlled by direct visual feedback. In this case, the image of the work area is captured from a fixed camera and all processing is done in such a way that the controller must be based only on measurements of the image plane, avoiding the camera calibration issue. The considered system can provide automatic color detection of the robot and obstacles in the work plane in real time. The color models, segmentation method, post-processing stage and computational cost are taken into account. The result is a robust system with low computational cost.

**Keywords**— Artificial vision, color segmentation, mobile robotics, cellular robots.

**Resumo**— Este artigo apresenta uma proposta de sistema de visão artificial projetado para utilização em sistemas de robôs celulares controlados por realimentação visual direta. Neste caso a imagem da área de trabalho é capturada por uma câmera fixa e todo o processamento é feito tendo em vista que o controlador deve se basear apenas nas medidas retiradas no plano da imagem, evitando assim o problema de calibração da câmera. O sistema proposto é capaz de efetuar a detecção automática por cor do robô e dos obstáculos presentes na área de trabalho em tempo real. São levados em conta o modelo de cores, o método de segmentação, a etapa de pós-processamento e o custo computacional. O resultado é um sistema robusto e ao mesmo tempo computacionalmente muito leve.

**Palavras-chave**— Visão artificial, segmentação por cores, robótica móvel, robôs celulares.

## 1 Introdução

Acompanhando o crescimento do ramo da robótica, nas últimas décadas os robôs celulares observados remotamente têm recebido grande atenção da comunidade científica, principalmente pela capacidade desta tecnologia de operar individualmente ou cooperativamente em uma área remota maior. As aplicações deste tipo de tecnologia vão desde detecção de minas terrestres até exploração espacial ou subaquática (Santos-Vitor, 1998; Santos-Vitor et al, 2002).

Os robôs celulares podem ter um projeto muito simples, de modo que a complexidade do robô, ou conjunto de robôs (no caso de múltiplos robôs) pode ser transferida para uma unidade de processamento externa como um computador. Sob este aspecto, os dados sensoriais captados no ambiente são transferidos para o computador. Nele as informações são processadas e com base nelas o controlador toma as decisões de ação. Através de comunicação sem fio as ações são passadas ao robô, que por sua vez atua no ambiente. Aplicações como estas podem ser encontradas em (Carelli et al, 2006; Santos-Vitor et al, 2002; Santos-Vitor, 1998).

Este trabalho apresenta técnicas de processamento de imagens para utilização em sistemas base-

ados em realimentação visual. Apesar do sistema de visão artificial ter sido inicialmente proposto para aplicações em sistemas de controle de robôs celulares baseados em realimentação visual, as técnicas propostas são genéricas e podem ser usadas em qualquer sistema de visão baseado em detecção por cores. Sendo assim, o objetivo deste trabalho consiste em apresentar e discutir tais técnicas de processamento de imagens. O sistema de controle e os robôs celulares para os quais o sistema foi originalmente proposto não são aqui detalhados por questões de espaço, e serão objeto de uma possível publicação futura. Uma câmera do tipo *webcam* fixa observa a área de trabalho, e utiliza-se um controle visual direto. Desta forma os cálculos são feitos no plano da imagem, eliminando a necessidade de aplicar transformações para o plano de trabalho. Portanto não é necessária a calibração da câmera (Carelli et al, 2006; Santos-Vitor et al, 2002; Santos-Vitor, 1998).

O sistema de visão artificial proposto é de baixo custo computacional e robusto na extração de características das imagens através da cor. O método consiste na combinação de técnicas de processamento de imagens, que segundo a classificação de (Fu et al, 1997), são agrupadas em visão artificial de níveis baixo e médio. O baixo custo computacional do sistema é dado pela utilização de técnicas de processamento de imagens simples, como limiarização e operações lógicas e aritméticas (Sural et al, 2002; Fu et

al, 1997). Já a robustez é obtida pela imunidade ao ruído e à iluminação não uniforme, dadas respectivamente pela metodologia utilizada e pela representação de cores no modelo HSI (Cheng et al, 2001).

Este artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2 é feito um estudo sobre os dois modelos de cores mais utilizados em processamento de imagens, tendo em vista as vantagens, desvantagens e o custo computacional. Na Seção 3 é apresentado o método de segmentação utilizado, levando em consideração seu custo computacional. Na Seção 4 é mostrado como as operações lógicas são utilizadas para concluir a segmentação, selecionando as cores de acordo com as características de saturação e atuando como filtro contra ruído. Na Seção 5 é mostrado como os parâmetros a serem passados ao controlador são extraídos das imagens. Na Seção 6 são mostrados alguns experimentos conduzidos para verificação da robustez e o custo do sistema proposto. Finalmente, a Seção 7 apresenta algumas conclusões e perspectivas de trabalhos futuros.

## 2 Estudo Comparativo dos Modelos RGB e HSI para Segmentação por Cor

A visão humana é capaz de reconhecer e extrair informações de uma cena através de várias propriedades físicas como forma, brilho, textura ou cor. Com a visão artificial não é diferente. A escolha de qual ou quais destas propriedades físicas utilizar na implementação de um sistema de visão depende muito da aplicação. Em aplicações onde se pode identificar objetos distintos com cores diferentes, como é o caso de algumas aplicações com robôs celulares, a utilização da cor na extração de características é natural. Utilizada mais efetivamente nos últimos anos, a cor é um poderoso parâmetro na extração de características das imagens. Primeiro devido à facilidade de aquisição e processamento de imagens coloridas com os equipamentos recentes. Segundo porque a cor possui grande caráter discriminatório quando utilizada na identificação de estruturas ou objetos (Britto et al, 1997).

### 2.1 Modelo de Cores RGB

Lidar com imagens coloridas significa processar espaços de cores em várias dimensões. O mais simples deles é o RGB, do inglês *Red*, *Green* e *Blue* (vermelho, verde e azul). Ele consiste em um modelo de cores tridimensional com as cores primárias associadas aos eixos ortogonais. Desta forma se pode facilmente representar vetorialmente o espectro, como está ilustrado na Fig. 1.

No entanto, este modelo apresenta dois problemas principais. Por um lado ele não representa bem a maneira como os humanos percebem a cor. Por outro suas componentes de cor e intensidade estão

muito correlacionadas, sendo difícil separar estas informações. Por isso, segmentar imagens com iluminação não uniforme ou sombra é uma tarefa complicada neste modelo (Britto et al, 1997; Cheng et al, 2001). Diversos outros modelos de cores buscam suprir estas desvantagens, mas o HSI é o que possui maior sucesso neste aspecto. Por razões complementares o RGB e o HSI são os mais utilizados em processamento de imagem (Britto et al, 1997).

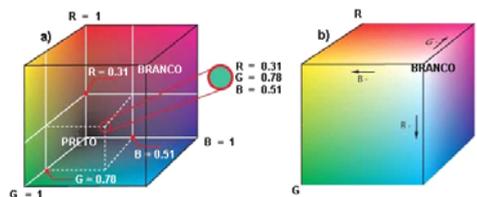


Figura 1. Representação gráfica do RGB.

### 2.2 Modelo de Cores HSI

O modelo HSI, do inglês *Hue*, *Saturation* e *Intensity*, utiliza os conceitos de tonalidade (ou matiz), saturação e luminância. A tonalidade representa a cor propriamente dita, a saturação representa o grau de pureza e a luminância porta as informações do brilho da cor (Britto et al, 1997). Os sistemas de cores mais adequados para segmentação são aqueles em que suas componentes estão tão decorrelacionadas quanto possível (Britto et al, 1997; Ohta, 1980). Ainda pode ser visto em (Ohta, 1980), um estudo comparativo de diversos sistemas de cores aplicados à segmentação por cor, onde o modelo HSI apresentou informações de cor mais decorrelacionadas que no modelo RGB. As relações de transformações do modelo RGB para o HSI são dadas a seguir:

$$I = \frac{R + G + B}{3 \times 255} \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} \min(R, G, B) \quad (2)$$

$$H = \text{tg}^{-1} \left( \sqrt{\frac{255 \times (R - G)(R - B)}{(R - G)^2 + (R - G)(G - B)}} \right) \quad (3)$$

Uma representação gráfica do modelo está ilustrada na Fig. 2. Dela podemos perceber que o canal H é representado pelo ângulo em torno do eixo vertical no intervalo  $[0, 2\pi)$ . O canal S é a distância perpendicular do ponto no espaço ao eixo do cone, variando no intervalo  $[0, 1]$ . O canal I é o eixo do cone e vai do preto  $I = 0$  até branco  $I = 1$ .

Da relação de transformação é possível encontrar a primeira desvantagem do HSI. Há uma singularidade não removível próximo do eixo do cilindro de cor ( $R = G$ ). Com isso pequenas variações nos valores de entrada de R, G e B podem causar uma grande variação nos valores transformados (Ohta, 1980; Cheng et al, 2001; Chaprn, 2002). Esta singularidade pode trazer descontinuidades na representação da cor tornando-a instável, principalmente nos

pontos de baixa saturação ou intensidade aproximando-se do branco ou preto (Cheng et al, 2001; Kender, 1976). A outra desvantagem do HSI é que as relações de transformação são não lineares. Isto resulta em um maior custo computacional para se obter esta representação, uma vez que o *hardware* utilizado trabalha em RGB. Por outro lado os processadores atuais são capazes de efetuar esta transformação para aplicações em tempo real. Além disso, como as componentes do HSI estão muito descorrelacionadas, é fácil excluir as informações de intensidade na segmentação por cor, tornando o sistema insensível à iluminação não uniforme (Britto et al, 1997; Ivins e Porrill, 1995; Cheng et al, 2001).

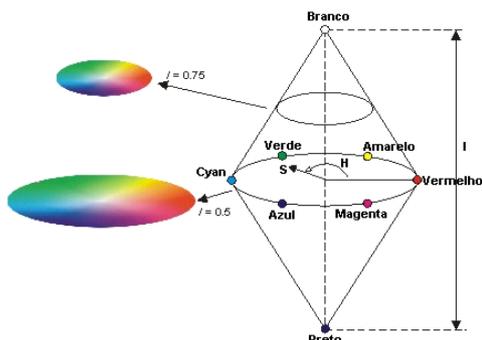


Figura 2. Representação gráfica do modelo HSI.

### 3 Segmentação Baseada em Cores

Segmentação é uma importante área de processamento de imagens. Consiste em dividir uma imagem em suas partes constituintes. O objetivo da segmentação é obter apenas as regiões de interesse da imagem. É uma etapa essencial, uma vez que aplicar o processamento de alto nível somente nas regiões interessantes é muito atrativo.

A segmentação é baseada nos conceitos de similaridade e descontinuidade e sempre é feita de acordo com alguma característica física da imagem. Estas características podem ser: forma, geometria, topologia, textura, cor ou brilho. A escolha da propriedade a ser utilizada depende da aplicação e do tempo de processamento disponível. Neste trabalho o critério utilizado é a cor.

#### 3.1 Limiarização Global dos Canais H, S e I

Neste contexto uma das ferramentas mais básicas é a limiarização ou binarização. Esta técnica consiste em aplicar uma transformação do tipo

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{se } f(x, y) > T \\ 0, & \text{se } f(x, y) < T \end{cases} \quad (4)$$

Onde  $f(x, y)$  é a imagem original  $g(x, y)$  é a imagem resultante e T é um limiar dado por:

$$T = T[x, y, p(x, y), f(x, y)] \quad (5)$$

Onde  $p(x, y)$  denota alguma propriedade local.

Se o limiar depende apenas do atributo do pixel  $f(x, y)$ , o limiar é dito global. Se depender de alguma propriedade local  $p(x, y)$ , o limiar é local. Caso dependa das coordenadas espaciais  $x$  e  $y$ , o limiar é dinâmico ou adaptativo (Gonzalez e Woods, 2002; Cheng et al, 2001, Fu et al, 1997).

A técnica de limiarização pode utilizar mais de um limiar para efetuar a segmentação (limiarização multinível). Isto é útil na segmentação de imagens com histograma multimodal. Na Fig. 3 estão ilustrados os histogramas de duas imagens. Na Fig. 3 (a) está ilustrado o histograma de uma imagem que pode ser segmentada por limiarização simples. Na Fig. 3 (b) são necessários dois limiares para separar as regiões da imagem,  $T_1$  e  $T_2$ . Nesta última o *pixel* é considerado de um grupo se  $f(x, y) > T_2$  de outro se  $T_1 < f(x, y) \leq T_2$ , e de um terceiro se  $f(x, y) < T_1$ .

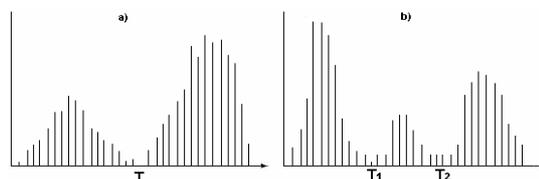


Figura 3. Histogramas de imagens que podem ser segmentados por limiarização simples e dupla, respectivamente.

A limiarização é inicialmente aplicável em imagens monocromáticas. Como as imagens coloridas podem ser consideradas como uma composição de componentes monocromáticas então a limiarização de imagens coloridas pode ser obtida pela limiarização das suas componentes (Cheng et al, 2001).

Neste trabalho a segmentação é feita através da limiarização dos canais H, S e I separadamente. Neste caso, a cor e sua pureza são representadas respectivamente pelas componentes ou canais H e S, enquanto sua luminosidade pelo canal I. Estas características dependem exclusivamente dos atributos do *pixel* nestes canais. Em outras palavras, dependem de  $f(x, y)$ . Para o canal de saturação S e o de intensidade I a limiarização é empregada para selecionar os *pixels* que possuem cor com pureza superior a um determinado limiar T. De forma diferente, para extrair uma determinada tonalidade do canal H, é necessário selecionar um intervalo em torno do valor efetivo que representa a cor.

Neste trabalho foi empregada a limiarização global. Outros tipos de limiarizações são indicados para segmentação de imagens com iluminação não uniforme. No entanto, limiares deste tipo não foram adotados. Isso porque o modelo HSI possui as informações de cor descorrelacionadas das de intensidade. Tal fato permite que a tarefa de eliminação das informações de intensidade e conseqüentemente da iluminação da cena seja feita pela simples supressão de informações do canal I (Britto et al, 1997; Ohta, 1980). Por outro lado, este procedimento libera tempo de processamento porque os outros tipos de limiarização exigem maior custo computacional.

#### 4 Separação das Cores Baseada no Nível de Saturação e Intensidade Usando Operações Lógicas e Aritméticas

O resultado do processo de segmentação está dividido em quatro imagens binárias: duas provenientes da segmentação do canal de cor, uma do canal de saturação e uma do canal de intensidade. Então é necessária a composição destas informações para formar uma única imagem. Esta composição é feita utilizando a premissa de que o método busca extrair características do *pixel* pela escolha da cor como propriedade dominante, baseado no valor da saturação e intensidade do mesmo. Um exemplo de segmentação que utiliza este critério pode ser encontrado em (Sural et al, 2002).

Como o processo de limiarização resulta em imagens binárias, é possível a utilização de operações lógicas e aritméticas. Estas últimas são ferramentas simples e eficazes no processamento deste tipo de imagens, além de terem custo computacional baixo (Gonzalez e Woods, 2002).

As operações lógicas neste trabalho são utilizadas em duas etapas. Primeiro, para compor a imagem da segmentação do canal de cor, uma vez que para separar uma determinada cor é efetuada uma dupla limiarização. E depois, para selecionar a cor de acordo com o nível de saturação da mesma. A primeira etapa está ilustrada na Fig. 4.

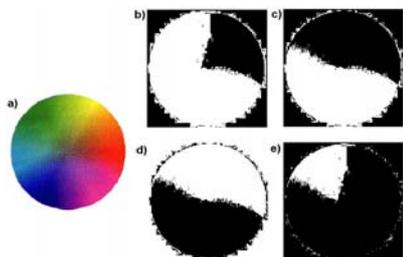


Figura 4. Ilustração do procedimento com operações lógicas para obtenção da região verde.

Na Fig. 4 (a) está ilustrado um disco de cores (com ruído) de onde se deseja segmentar, por exemplo, a cor verde. Para o canal H foram adotados limiares para seleção do verde em torno de  $T_1 = 0,2$  e  $T_2 = 0,4$ , obtidos empiricamente. Nas Figuras 4 (b) e (c) estão ilustradas as imagens submetidas a estes limiares respectivamente. Como o limiar  $T_2$  é maior que  $T_1$ , a imagem na Fig. 4 (b) carrega informações do verde até o vermelho e na Fig. 4 (c) carrega informações de cor que correspondem a valores superiores ao verde. Isso torna necessária a inversão desta última, para que além do verde, as imagens contenham informações diferentes. Por isso, na prática é feita uma limiarização invertida com o limiar  $T_2$ , cujo resultado pode ser visto na Fig. 4 (d). Em seguida é realizada uma operação AND entre as imagens representadas nas Figuras 4 (b) e (d). Isso faz com que apenas as informações contidas nas duas

imagens sejam utilizadas na composição da imagem resultante. O resultado, ilustrado na Fig. 4 (e), é uma imagem contendo a região esverdeada e o ruído.

A segunda etapa está representada na Fig. 5. Na Fig. 5 (a) está ilustrado novamente o resultado da primeira etapa com operações lógicas. Na Fig. 5 (b) está ilustrado o resultado da limiarização do canal S com  $T_s = 0,4$ , também obtido empiricamente. Por fim, na Fig. 5 (c) está ilustrado o resultado da operação AND entre a imagem contendo apenas a região verde com a imagem do canal de saturação limiarizado. Em outras palavras, a imagem na Fig. 5 (c) contém um grupo de *pixels* que possui a cor como propriedade dominante, baseado no valor da saturação destes *pixels*.

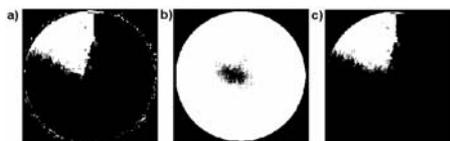


Figura 5. Ilustração do procedimento para extração de características de cor baseado no valor da saturação, utilizando operações lógicas.

As operações aritméticas são utilizadas para eliminar o ruído proveniente da falta de estabilidade do canal de cor nas regiões da imagem de baixa intensidade. Desta forma é feita uma limiarização invertida do canal de intensidade e a imagem resultante é subtraída da imagem que resulta do processamento com operações lógicas.

Um aspecto importante a ser discutido é sobre a forma como é feita a limiarização multinível na segmentação do canal de cor. As limiarizações normais e invertidas e as operações AND são feitas em três varreduras, ao invés de uma varredura simples, utilizando uma operação *if* (com condição dupla). No entanto vários recursos disponíveis, como o *toolbox SIP* do *Scilab* e a biblioteca *Opencv* da *Intel*, permitem operar as imagens como matrizes, reduzindo o tempo de processamento e justificando a metodologia utilizada.

A utilização de operações lógicas da forma como apresentada atua como uma etapa de pós-processamento e traz duas vantagens imediatas. A primeira diz respeito à simplicidade e ao baixo custo computacional que o método introduz. Operações lógicas e aritméticas possuem um custo computacional muito baixo. A segunda está relacionada com a forte imunidade ao ruído, já que o *pixel* de ruído só passa pelas operações AND e subtração se estiver presente em todas as imagens. Como as três imagens que passam por este processo possuem informações diferentes (além do verde) o ruído é filtrado. Isso inclui o ruído inserido pela descontinuidade do canal de cor, como pode ser observado na Fig. 5 (d), através da eliminação da borda do disco de cores. Assim, não é necessária a utilização de filtragem de suavização na imagem.

## 5 Determinação dos Parâmetros a Serem Passados ao Controlador

Como última etapa o sistema de visão determina os parâmetros a serem passados ao controlador: posição e orientação do robô e posição dos obstáculos. Para tanto, são determinados os centros de massa de cada uma das regiões segmentadas. É importante, neste caso, a convenção de cores utilizada. Pode-se ter, por exemplo, a cor azul para os obstáculos e duas faixas de cores, vermelho e verde para o robô. O centro de massa da região azul fornece a posição do obstáculo. Para o robô há duas posições: o centro de massa da região vermelha e o da região verde. A partir do segmento de reta que os une é possível determinar a orientação, (pela inclinação deste segmento) e a posição do robô (pelo seu ponto central).

## 6 Resultados Experimentais

Os algoritmos desenvolvidos foram testados em imagens de ambientes que reproduzem os principais problemas encontrados, como imagem com ruído e iluminação não uniforme. Não houve manipulação da cena a fim de garantir a robustez do sistema.

Os *hardwares* utilizados foram câmeras *webcam* e um computador de baixo custo. Diversas marcas de câmera foram experimentadas. São elas: *Vcom PD 612*, a *Logitech QuickCam Express*, a *Eazonics ez-307 clone 11123* e a *Sony cybershot s40*.

Para ilustrar a aplicabilidade do sistema em controle servo visual de robôs celulares, um dos objetos das imagens apresentadas neste trabalho é um robô celular que segue os padrões da FIRA na categoria MiroSot (FIRA, 2000). O robô possui duas listras coloridas, uma vermelha e a outra verde, na parte superior (para indicação da orientação). O outro objeto é o obstáculo, representado pela cor azul.

É possível observar, na Fig. 6, três imagens de aplicações típicas deste sistema, obtidas com a câmera Sony na resolução 640x480. Na Fig. 6 (a) está ilustrada uma cena com fundo claro e característica heterogênea. Na Fig. 6 (b) está ilustrada uma cena com fundo escuro, no intuito de simular o ambiente do futebol de robôs. Já na Fig. 6 (c), é possível ver um fundo típico de um ambiente *indoor* com iluminação não uniforme.

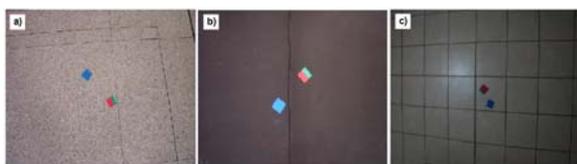


Figura 6. Cenas tipicamente encontradas em aplicações como esta.

Na Fig. 7, é possível observar o resultado do método de segmentação utilizado. Nas Figuras 7 (a),

(b) e (c), está ilustrado o resultado da segmentação para o vermelho das imagens ilustradas na Fig. 6, baseado apenas nas informações do canal de cor. É possível notar aí uma grande quantidade de ruído proveniente do próprio processo de aquisição da imagem e da descontinuidade do canal H. Isto justifica a adoção do método que se baseia na saturação e intensidade para extrair as informações de cor. O resultado final da segmentação utilizada no sistema de visão proposto para o vermelho pode ser observado através das Fig. 7 (d), (e) e (f). Os limiares utilizados foram,  $T_s = 0,3$  para o canal S,  $T_v = 0,2$  para o canal I e  $T_1 = 0,9$  e  $T_2 = 1,0$  para separar o vermelho no canal H. Todos obtidos empiricamente.

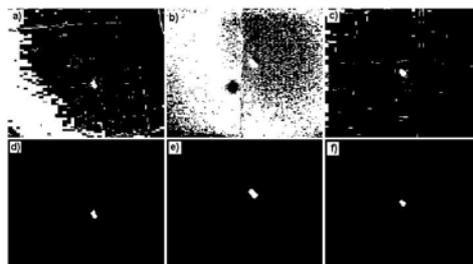


Figura 7. Resultado da segmentação para o vermelho.

Nas Figuras 8 (a), (b) e (c) estão reproduzidas novamente as imagens originais. Nas Figuras 8 (d) a (f) estão ilustrados o resultado final da segmentação, onde as imagens foram geradas a partir da composição das imagens contendo as regiões separadas. Os limiares utilizados foram  $T_s = 0,3$  para o canal de saturação,  $T_v = 0,2$  para o canal de intensidade e  $T_1 = 0,8$  e  $T_2 = 1,0$  para separar o vermelho no canal de cor,  $T_1 = 0,2$  e  $T_2 = 0,5$  para separar o verde e  $T_1 = 0,5$  e  $T_2 = 0,7$  para separar o azul. Todos obtidos empiricamente. No caso do canal de saturação, a adoção de limiares muito baixos faz surgir na imagem regiões do fundo, que possuem uma pureza um pouco maior que o restante. Para o canal de intensidade, limiares muito baixos fazem aparecer ruído proveniente da instabilidade do canal de cor. No caso do canal de cor, a utilização de limiares com um intervalo maior que os utilizados resultaram no aparecimento de cores diferentes das escolhidas, enquanto intervalos menores degradaram as formas dos objetos por eliminar indevidamente as cores selecionadas. Ainda na Fig. 8, de (g) a (i) está ilustrado o resultado da segmentação, onde as imagens foram previamente submetidas a uma filtragem de suavização por mediana com máscara 3x3. Tal filtro foi escolhido por possuir a característica de suavizar preservando as informações do contorno (Gonzalez e Woods, 2002; Fu et al, 1987). Comparando estes últimos resultados é possível verificar que o método proposto é imune ao ruído, de forma que não é necessária a filtragem da imagem.

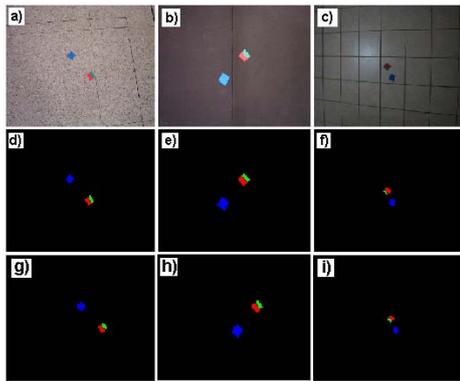


Figura 8. Resultado do emprego da metodologia proposta com e sem filtragem.

O desempenho do sistema pode ser verificado através da Tabela 1. Nela estão quantificados os desvios padrões na determinação da posição do robô ( $\sigma_{robo}$ ), da sua orientação ( $\sigma_{\theta}$ ), da posição do obstáculo ( $\sigma_{obst}$ ) e o tempo de execução do laço principal do programa que implementa o sistema em C++. Vale ressaltar que o erro absoluto não foi determinado, pois não é utilizado nenhum método da calibração. As resoluções utilizadas foram 352x288 exceto na câmera *Vcom*, que possui resolução padrão de 640x480.

CÂMERA	$\sigma_{robo}$ (pix)	$\sigma_{\theta}$ (°)	$\sigma_{obst}$ (pix)	TEMPO (ms)
Eazonics	2,45	4,2	1,91	65
Vcom	0,42	3,11	2,59	185
Clone	0,38	4,71	2,25	65
Logitech	3,24	20,97	8,46	65

Tabela 1. Quantificação da precisão e velocidade do sistema.

## 7 Conclusões e Perspectivas

Este trabalho apresentou uma proposta de um método de visão artificial baseado em detecção por cores para aplicação em sistemas de controle de robôs celulares por realimentação visual. Diversos aspectos foram levados em consideração: escolha do modelo de cores mais apropriado, método de segmentação, robustez e custo computacional e financeiro.

O desempenho pôde ser verificado através dos experimentos realizados, onde foi comprovada a imunidade ao ruído e à iluminação não uniforme, além da velocidade e precisão. Isto se deve ao sistema de cores e ao pós-processamento com operações lógicas e aritméticas que foram utilizados. Este sistema pode ser facilmente implementado, sendo executado em tempo real, graças à sua simplicidade.

Existem três vertentes para trabalhos futuros. Uma delas diz respeito a um estudo comparativo do sistema proposto com implementações clássicas e outros tipos de segmentação e filtragens. Uma segunda diz respeito ao estudo de técnicas para identificação de múltiplos robôs na mesma cena. Tal estu-

do é de vital importância em aplicações com múltiplos robôs, como é o caso do futebol de robôs. Outra perspectiva é utilização de múltiplas câmeras em visão estereoscópica. A fusão de dados provenientes de estereoscopia pode aumentar o número de aplicações deste sistema.

## Referências Bibliográficas

- Santos-Victor J., Carelli R., Van der Zwaan S. (2002). Nonlinear visual control of remote cellular robots, *Proceedings of the 10th Mediterranean Conference on Control and Automation – MED2002*, Lisbon, Portugal.
- Santos-Victor J. (1998). Vision based remote control of cellular robots. *Robotics and Autonomous Systems*, (23), pp. 221-234.
- Gonzalez R. C., Woods R. E. (2002). *Digital image processing*, Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey 07458, 2nd edition.
- Sural S., Gang Quian, Paramanik S. (2002). Segmentation and histogram generation using the HSV color space for image retrieval. *Proceedings. 2002 International Conference*, v. 2, pp. 589-592.
- Britto JR. A. S., Facon J., Neto A. C. (1997). Uso da análise de componentes principais na segmentação de imagens coloridas. In: *XXIX Congresso da Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional*, Salvador. Anais do XXIX SBPO.
- Ohta Y. (1980). Color information for region segmentation. *Computer Graphics and Image Processing*, v.13, pp. 222-241.
- Ivins J., Porrill J. (1995). Active regions models for segmenting textures and colours. *Image and Vision Computing*, v. 13, pp. 431-438.
- Cheng H. D., Jiang X. H., Sun Y., Wang J. (2001). Color image segmentation: advances and prospects. *Pattern Recognition*, v. 34, # 12, pp. 2259-2281(23).
- Fu K. S., Gonzalez R.C., Lee C. S. G. (1987). *Robotics: control, sensing, vision and intelligence*. McGraw-Hill, inc. New York, USA
- Carelli R., Santos-Victor J., Roberti F., Tosetti F. (2006). Direct visual tracking control of remote cellular robots. *Robotics and Autonomous Systems*, v.54, pp.805-814.
- Kender J. (1976). *Saturation, Hues and Normalized Color: cauculation, digitization effects and use*. Technical Report, Department of Computer Science, Carnegie-Mellon University.
- Chaprn M. (1992). A new chromatic edge detector used for color image segmentation. *Proceedings of 11<sup>th</sup> IEEE Internal Conference on Pattern Recognition*, v.3, pp. 311-314.
- FIRA – Federation of International Robot-Soccer Association (2000). *FIRA Bylaws*. Disponível em: <<http://www.fira.net/about/Bylaws.pdf>>. Último acesso em 27/04/2007.