

Sistema de Identificação de Placas por Processamento Automático de Imagens

Tatiane Campos¹, Sergio Bampi², Altamiro Susin³
Instituto de Informática - UFRGS
C. P. 15064 - CEP 91501-971 - Porto Alegre - Brasil
{tatiane, bampi, susin}@inf.ufrgs.br

Resumo

Este trabalho apresenta os resultados obtidos e as propostas de aperfeiçoamento de um sistema de identificação automática de veículos através do processamento das imagens dos veículos. Este aperfeiçoamento busca uma melhor taxa de reconhecimento das placas e um melhor desempenho do sistema em termos da redução do tempo de processamento. A utilização de técnicas de realce de imagens, como a equalização do histograma e a filtragem homomórfica, assim como algumas alterações no sistema original desenvolvido no CPG-EE [SOU00] e o desenvolvimento de uma arquitetura voltada para o problema em questão, busca o desenvolvimento de um sistema que resulte em um aumento na taxa das placas reconhecidas corretamente e uma redução no tempo de processamento.

Abstract

This work presents the results and the proposals for improving a system of automatic identification of vehicle plates through the processing of the pictures of the vehicles. This improvement search o better rate of recognition of license plates. Also, a reduction of the processing time is sought. Some alterations in the original system developed in the CPG-EE [SOU00] and the development of an architecture comes back to the problem in question, searching for the development of a system that results in an increase in the rate of the recognized plates and a reduction in the processing time.

¹ Mestranda do CPGCC - Instituto de Informática - UFRGS

² Professor Doutor do Instituto de Informática - UFRGS

³ Professor Doutor do Instituto de Engenharia Elétrica - UFRGS

1. Introdução

Um sistema automático de análise de imagem, também chamado de sistema de visão artificial, tem como objetivo adquirir, processar, analisar e interpretar um determinado tipo de imagem para uma determinada aplicação. Geralmente, estes sistemas possuem aplicações bem específicas, permitindo que o sistema apresente uma alta performance para uma determinada classe de imagem.

A identificação automática de veículos é uma importante aplicação de sistemas de visão artificial [COE98]. Além do controle e monitoramento do tráfego, um sistema de identificação automática de veículos possui outras aplicações, como:

- medição e planejamento do fluxo de tráfego,
- reconhecimento de veículos em situação irregular,
- controle de pedágios e estacionamentos,
- identificação de veículos infratores.

Um sistema de identificação automática de veículos denominado SIAV [SOU00] é tomado como ponto de partida para este trabalho que objetiva melhorar a sua taxa de reconhecimento de placas de identificação assim como reduzir também seu tempo de execução.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de visão artificial capaz de localizar e reconhecer o conteúdo de uma placa de licença de um veículo, com grande taxa de reconhecimento em um bom tempo de processamento. Isto ocorre através da utilização conjunta de técnicas de processamento e análise de imagem, para a localização e segmentação dos caracteres respectivamente, e redes neurais para reconhecimento dos mesmos.

O sistema foi projetado para trabalhar com imagens que possuam as seguintes características:

- Placas com 7 caracteres;
- Fundo claro e caracteres escuros;
- Imagens da frente e costas dos veículos;
- Distribuição de luz homogênea e heterogênea sobre a superfície da placa;

Serão utilizados três bancos distintos de imagens para avaliar o desempenho do sistema. Todos os bancos são compostos por imagens reais. Os dois primeiros contém 250 imagens cada adquiridas em situações cotidianas como estacionamentos e trânsito livre respectivamente. O terceiro foi obtido por sensores de sistemas conhecidos como “pardais”, sendo constituído de imagens de automóveis infratores, capturadas no trânsito da cidade de Porto Alegre com veículos em movimento e em excesso de velocidade em vias públicas.



Figura 1 - Exemplos de Imagens Pertencentes aos Bancos

2. Metodologia

Para localizar e interpretar o conteúdo de uma placa de um veículo uma série de estágios são necessários. Após a captura da imagem através da utilização de algum dispositivo apropriado (câmera CCD), e sua digitalização através de uma placa de aquisição de vídeo, a imagem digital é processada, analisada e interpretada segundo os estágios abaixo:

1- Os pixels pertencentes a região da placa podem ser considerados como variáveis aleatórias cuja distribuição se aproxima a densidade normal de probabilidade. Deste modo, pode-se restringir a área da imagem onde a procura da placa será realizada visando uma redução no tempo de processamento. Esta procura ocorrerá, então, sobre os pixels de maior probabilidade.

2- O segundo estágio consiste da conversão cromática da imagem. Como a imagem capturada pela placa de aquisição é colorida, e os algoritmos empregados não fazem uso desta informação, o primeiro estágio do sistema consiste na conversão da mesma para 256 tons de cinza.

3- O terceiro estágio consiste na implementação de técnicas de pré-processamento da imagem que visa melhorar a taxa de reconhecimento caracteres. O objetivo principal das técnicas de realce é processar uma imagem de modo a melhorá-la para uma aplicação específica [GON93]. Técnicas como equalização do histograma e filtragem homomórfica são utilizadas nesta etapa.

4 – O quarto estágio consiste em uma análise na imagem à procura de um padrão de variação tonal conhecido. Este procedimento é um tanto quanto intuitivo, visto que se baseia na existência de caracteres contrastando com um fundo, uma característica obrigatória em qualquer placa de licença. Os elementos contrastantes podem ser localizados através de uma análise por descontinuidades. No caso de alguma placa ser detectada neste estágio, sua localização é armazenada para processamento no próximo estágio.

5- O quinto estágio consiste de três etapas. Na primeira temos uma binarização local adaptativa sobre a imagem inteira ou sobre o resultado conseguido no estágio anterior. Na segunda etapa um algoritmo de localização de dígitos é utilizado sobre a imagem resultante da etapa de binarização, localizando elementos que possuam dimensões compatíveis com um padrão esperado. E finalmente, na terceira etapa, temos a utilização de um algoritmo de análise dos dígitos encontrados, nesta etapa é verificada a existência de algum grupo de dígitos que forme um conjunto de acordo com as propriedades espaciais de uma placa de licença.

6- O sexto estágio consiste no realce da área da placa na imagem original, através de um algoritmo de *contrast stretching*. Este estágio permite uma melhora na relação do contraste entre os caracteres e o fundo da placa, propiciando uma melhor segmentação.

7- O sétimo estágio é uma repetição do quinto estágio, porém sobre a imagem realçada. Os três passos: binarização, localização e análise dos dígitos são feitos novamente, apenas sobre a região da imagem que contém a placa realçada, até que seja encontrado o número de caracteres esperado.

8- O oitavo estágio consiste na segmentação dos caracteres contidos na área da placa. Através da utilização de um algoritmo de agrupamento por similaridade e um conjunto de heurísticas os caracteres são extraídos da imagem binarizada.

9- O nono estágio consiste na apresentação dos caracteres encontrados à rede neural para seu reconhecimento. Os três primeiros caracteres são apresentados à rede treinada para

reconhecimento de letras e os caracteres restantes são apresentados à rede treinada para reconhecimento de números.

3. Sistema de Identificação Automática

Este trabalho está baseado em um sistema de identificação automática de veículos denominado SIAV. Este sistema foi desenvolvido no CPG-EE da UFRGS [SOU00], e implementa sua função em oito etapas que podem ser observadas na figura 2 e serão descritas a seguir.



Figura 2 - Etapas do Sistema Original

Inicialmente, partindo da imagem original, tem-se a primeira etapa que é a conversão da imagem colorida para monocromática. A imagem adquirida pelo dispositivo de captura de vídeo é normalmente colorida e representada por 24 bits por pixel. Os algoritmos utilizados no SIAV para localização e segmentação dos caracteres não fazem uso da informação de cor presente na imagem, assim pode-se converter a imagem original colorida para uma imagem monocromática (na implementação atual, em 256 tons de cinza). O pixel resultante $P'(x, y)$ na imagem monocromática é calculado através da comparação dos valores das componentes de um pixel na imagem colorida, em busca dos valores mínimo e máximo, conforme a equação 1.

$$P'(x, y) = \frac{V_{\min} + V_{\max}}{2} \quad (1)$$

A partir da imagem monocromática inicia-se a etapa de localização da placa. Esta etapa é composta por quatro estágios. O primeiro é o algoritmo de análise por variação tonal que faz uso de uma característica construtiva da placa [BAR99], o contraste entre o fundo e os caracteres, para localizá-la. Uma análise no desempenho deste algoritmo mostra sua eficiência onde a distribuição de luz é homogênea.

Em casos onde a distribuição de luz sobre a superfície da placa não é homogênea, e ainda, em imagens onde há elementos complexos como paralelepípedos, reflexos, etc., utilizou-se o algoritmo proposto por [COE98] que mostrou-se mais eficiente, mas um problema em relação a sua implementação é o tempo de processamento. A seguir é realizada a verificação do número de caracteres e padronização dimensional, ou seja, o sistema verifica se o grupo com probabilidade de ser uma placa possui seis ou sete caracteres e padroniza suas dimensões se necessário. É realizado ainda o processamento da região da placa visando ressaltar as diferenças entre caracteres e o fundo da placa utilizando-se para isto a técnica *contrast stretch*.

Após encontrado a localização da placa é realizado a extração dos caracteres primeiramente através de um algoritmo de agrupamento por similaridade, que tem a finalidade de separar cada elemento encontrado, e de um algoritmo de avaliação dos elementos extraídos. Os caracteres depois de extraídos são então redimensionados para apresentação ao sistema de reconhecimento baseado em redes neurais.

Uma topologia de rede neural *feedforward* utilizando o algoritmo *backpropagation* para treinamento está sendo utilizada para o reconhecimento devido a sua simplicidade de uso e ao

limitado e conhecido número de classes da aplicação em questão. Foram desenvolvidas duas redes distintas uma para os caracteres e outra para os algarismos. Uma vez que os caracteres encontram-se redimensionados, os três primeiros são apresentados à rede responsável pelo reconhecimento das letras, e os quatro restantes apresentadas a rede responsável pelo reconhecimento dos números. Ambas as redes possuem 255 neurônios na camada de entrada. A rede dedicada ao reconhecimento dos números possui 10 neurônios na camada escondida e 10 neurônios na camada de saída. A rede para reconhecimento das letras possui 26 neurônios na camada escondida e na camada de saída.

3.1 Pré-Processamento da Imagem

A partir do sistema inicial, descrito na seção 3, foram implementadas três técnicas de realce de imagem visando melhorar a taxa de reconhecimento de caracteres. O objetivo principal das técnicas de realce é processar uma imagem de modo a melhorá-la para uma aplicação específica [GON93].

A etapa de pré-processamento modifica e prepara os valores dos pixels de uma imagem com o objetivo de facilitar para que as operações subsequentes alcancem melhores resultados [ACW96]. Uma das mais simples e mais importantes técnicas de realce é a equalização do histograma. O histograma de uma imagem representa as freqüências relativas de ocorrência de vários níveis de cinza de uma imagem [JAI89]. Histogramas mal distribuídos, concentrados em um ponto, apresentam imagens ruins (muito claras ou muito escuras). A equalização do histograma de uma imagem serve para melhor distribuir (uniformizar) os valores dos níveis de cinza de tal forma que se obtenha uma imagem com mais qualidade.

Outra técnica de realce de imagem implementada foi a filtragem homomórfica, onde o modelo de iluminação – reflectância, onde reflectância $r(x, y)$ é a quantidade de luz refletida pelos objetos da cena e iluminação $i(x, y)$ é a quantidade de luz incidida na cena, é utilizado como base para este método que busca melhorar a aparência da imagem através de compressão do intervalo de brilho e realce de contraste simultâneos.

A abordagem de realce utilizando esta técnica é apresentada na figura 3. Inicialmente é feita uma conversão logarítmica sobre a imagem, seguida do cálculo da transformada da mesma e da filtragem passa-banda e reconversão FFT e exponenciação.

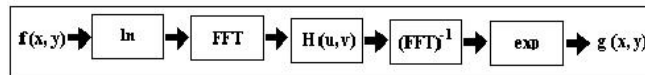


Figura 3 – Abordagem da Filtragem Homomórfica

As imagens pertencentes ao terceiro banco, adquirido por *pardais*, possuem pouco contraste, assim necessitam de uma etapa de pré-processamento. Para realçar as imagens pertencentes a este banco, utilizou-se um filtro passa - alta de *Butterworth*. A função de transferencia deste filtro, de ordem n e com uma freqüência de corte posicionada a uma distância D_0 da origem é definida pela equação 2.

$$H_{(u,v)} = \frac{1}{1 + [D_0 / D(u,v)]^{2n}} \quad (2)$$

A seguir algumas imagens do terceiro banco são apresentadas, assim como a versão filtrada destas imagens.



Figura 4 – Imagem Original e Imagem Filtrada

As imagens pertencentes ao terceiro banco, adquirido por *pardais*, possuem pouco contraste, assim necessitam de uma etapa de pré-processamento. Para realçar as imagens pertencentes a este banco, utilizou-se um filtro passa - alta de *Butterworth*. A função de transferencia deste filtro, de ordem n e com uma frequência de corte posicionada a uma distância D_0 da origem é definida pela equação 8.

$$H_{(u,v)} = \frac{1}{1 + [D_0 / D(u,v)]^{2n}} \quad (8)$$

A figura 5 apresenta uma imagem do terceiro banco e a versão filtrada desta imagem.



Figura 5 - Imagem Original e Imagem filtrada

3.2 Redução da Área de Busca

Os pixels pertencentes a região da placa podem ser considerados como variáveis aleatórias cuja distribuição se aproxima a densidade normal de probabilidade. Deste modo, pode-se restringir a área da imagem onde a procura da placa será realizada. Esta procura ocorrerá, então, sobre os pixels de maior probabilidade.

A densidade normal de probabilidade pode ser completamente descrita por dois parâmetros numéricos, média μ e variância σ^2 , onde a variável aleatória x é distribuída normalmente com μ e σ^2 . Pontos distribuídos de acordo com a densidade normal tendem a se agrupar em torno da média. Numericamente obtém-se:

$$\Pr\{|x - \mu| \leq \sigma\} \approx 0.682; \Pr\{|x - \mu| \leq 2\sigma\} \approx 0.954; \Pr\{|x - \mu| \leq 3\sigma\} \approx 0.997$$

Foram analisados os tamanhos de placas para o conjunto de 150 amostras. A análise normal da distribuição das áreas de placas apresentou o resultado numérico em relação à redução da área de busca da placa apresentado na tabela 1.

Área de Busca (%)	Placas (%)
10	38
20	54,7
30	76,9
40	92
50	96,4
60	97,6
70	98,8
75	99,4
80	99,7

Tabela 1 - Redução da Área de Busca

3.3 Análise da Tonalidade dos Dígitos

Uma das alterações realizadas no sistema original foi a inclusão de uma função de análise de tons dos dígitos presentes em uma placa, ou seja, antes de ser efetivado um grupo válido a tonalidade dos prováveis dígitos é analisada. Os dígitos que possuem tons de cinza semelhantes são agrupados. Assim, o algoritmo de análise dos dígitos encontrados leva em conta além das características dimensionais e posições relativas, o tom do dígito. Este procedimento evita, na maioria dos casos, que o sistema assuma possíveis bordas das laterais das placas como caracteres, o que ocorria frequentemente com o algoritmos original implementado no SIAV para a determinação da localização da placa, causando algum engano em relação a extração dos caracteres das placas.

3.4 Rede Neural

Devido a baixa taxa de acerto no reconhecimento da placa de licença de veículos apresentado pelo sistema original (37,5%) a rede foi retreinada tendo em vista que, inicialmente, a rede neural dedicada ao reconhecimento de letras foi treinada com apenas cinco amostras para cada letra e a rede neural dedicada ao reconhecimento dos números foi treinada com quinze amostras de cada caracter, sendo estas amostras selecionadas entre um banco de imagens específico para este fim.

4. Resultados Obtidos

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com o aperfeiçoamento do sistema. Para verificar a eficiência das alterações realizadas utilizou-se três bancos de imagens, todos compostos por 250 imagens, num total de 750 imagens, adquiridas em diferentes oportunidades, com diferentes equipamentos e características. Devido ao grande número de imagens, apenas algumas são mostradas em detalhes.

Uma comparação do desempenho do novo sistema em relação ao sistema anterior [SOU00], assim como a comparação com um software demonstrativo [HTS98] desenvolvido por uma empresa israelense, disponível na Internet, é apresentada.

Inicialmente aplicou-se a redução da área de busca onde foram analisados os locais de placas para o conjunto de 150 amostras para cada banco. A análise normal da distribuição das áreas de placas apresentou o resultado numérico em relação à redução da área de busca da placa apresentado na tabela 2.

Área de Busca (%)	Placas (%)		
	Banco1	Banco2	Banco3
10	93,3	38	33,3
20	98	54,6	46,6
30	98,6	76,6	68
40	99,3	92	80,6
50	100	96	86
60	100	97,3	88,6
70	100	98,6	93,3
80	100	99,3	98

Tabela 2 - Redução da Área de Busca

Para o primeiro banco de imagens a redução da área de pesquisa pode ser feita de forma mais acentuada com menor perda. Inicialmente acreditava-se que com o banco de imagens de veículos capturadas em condições controladas, como as obtidas de veículos em situação de infração, os resultados seriam ainda melhores devido a maior padronização do

enquadramento do veículo nas mesmas, o que não se confirmou, como pode ser observado nos dados apresentados na tabela 2.

Os resultados obtidos com a equalização do histograma nas imagens pertencentes aos três bancos são apresentadas a seguir.

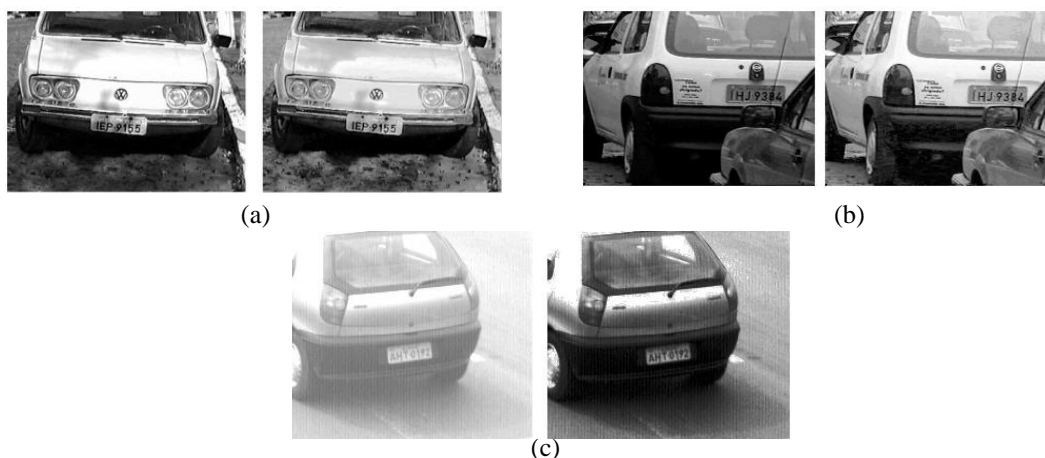


Figura 6 - Imagem Original e Imagem Equalizada pertencente ao Banco 1(a), 2(b) e 3(c).

O algoritmo de equalização do histograma foi testado em 750 imagens diferentes, 250 pertencentes a cada banco, e apresentou uma melhora de 20,8% no reconhecimento total do sistema com um tempo médio de processamento de 0.6 segundos para o primeiro banco, que possui uma resolução de 320 x 240, a 5 segundos para o terceiro banco onde as imagens possuem maior resolução.

A filtragem homomórfica é indicada para cenas ao ar livre onde a iluminação é variável. foi em 750 imagens diferentes, 250 pertencentes a cada banco, e apresentou uma melhora de 34,9% no reconhecimento total do sistema com um tempo médio de processamento de 0.75 segundos para o primeiro banco a 6,2 segundos para o terceiro banco.

As imagens pertencentes ao terceiro banco, adquirido por *pardais*, possuem pouco contraste, assim necessitam de uma etapa de pré-processamento que realce o contraste presente na imagem. Para realçar as imagens pertencentes a este banco, utilizou-se um filtro passa - alta de *Butterworth* que possibilitou a taxa de reconhecimento das imagens do terceiro banco de 0% para 5,3%.

Os resultados das redes treinadas e com as alterações descritas acima, para um conjunto de 450 imagens obtidas a partir dos três bancos de imagens utilizados neste trabalho, são apresentados no gráfico da figura 7. O primeiro par de barras refere-se à rede utilizada pela primeira versão do SIAV [SOU00]. O segundo par de barras refere-se a rede retreinada e com as alterações realizadas durante o processo de treinamento. A primeira barra, em cada par de barras, refere-se ao número de caracteres corretamente reconhecidos considerando a totalidade dos caracteres analisados, ou seja, dos 3150 caracteres analisados, 2560 foram reconhecidos utilizando a primeira versão do sistema e 2809 foram reconhecidos com a segunda versão. A segunda barra, em cada par de barras, refere-se ao número de placas corretamente reconhecidas (os sete caracteres presentes na placa corretamente reconhecidos) , ou seja, das 450 placas analisadas 112 foram reconhecidas inicialmente, ou seja, 24,9%. A rede neural utilizada atualmente obteve 45,33 % de sucesso na identificação correta dos sete caracteres contidos na placa (204 placas).

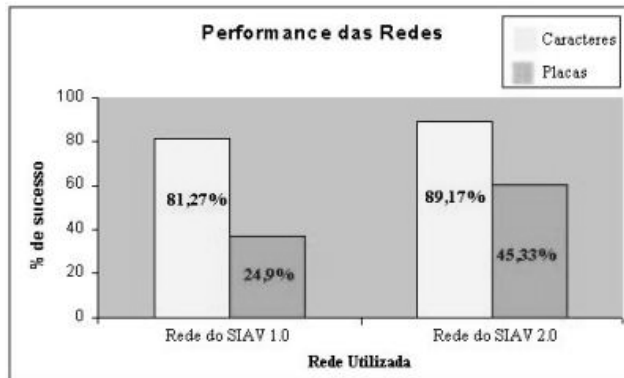


Figura 7 – Resultados Comparativos das Redes Neurais

O sistema aperfeiçoado (SIAV 2.0) foi testado nos três bancos, citados anteriormente, num total de 750 imagens e comparado com o sistema original e com um software demonstrativo - *Seecar* - utilizado como parâmetro de comparação durante o desenvolvimento do sistema inicial (SIAV 1.0). Os resultados comparativos obtidos são apresentados nos gráficos abaixo, sendo apresentados os resultados obtidos com os sistemas no banco 1, 2 e 3 respectivamente.

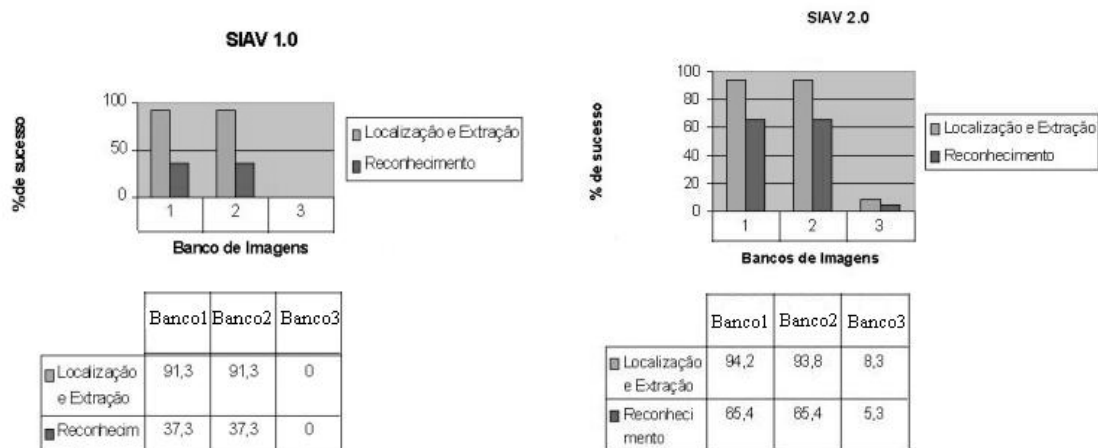


Figura 8 – Resultados Comparativos no SIAV 1.0 e SIAV 2.0 respectivamente

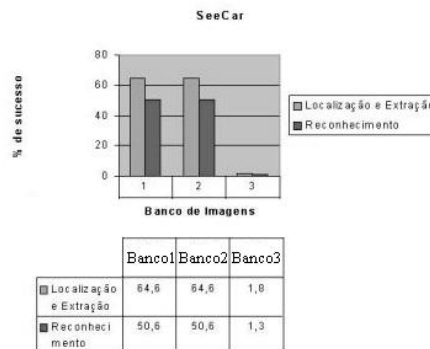


Figura 9 – Resultados Comparativos no SeeCar

6. Conclusões

Foi apresentado um sistema de identificação automática de veículos que possui uma boa performance em ambientes com diferentes tipos de iluminação sobre a superfície da placa. O sistema atual faz uso de uma etapa de pré-processamento que apresenta bons resultados, melhorando a taxa de reconhecimento dos sete caracteres presentes nas placas. É utilizado

também uma redução na área de busca diminuindo o tempo de processamento do sistema, que é dependente também da complexidade da imagem analisada. Algumas alterações no sistema original foram realizadas como a análise da variação tonal e o treinamento da rede neural aperfeiçoando o sistema. A rede neural original sofreu algumas alterações como o número de neurônios pertencentes a cada camada e as funções de ativação. Os resultados comparativos apresentados demonstram a evolução do sistema em relação ao sistema original (SAIV 1.0).

Visando um melhor tempo de processamento um hardware dedicado será desenvolvido.

7. Bibliografia

- [AWC96] G. J. Awcock, R. Thomas, Applied Image Processing, New York, McGraw-Hill, 1996
- [BAR99] J. Barroso, A. Rafael, E. L. Dagless, J. Bulas-Cruz, Number Plate Reading Using Computer Vision, <http://www.utad.pt/~jbarroso/html/isie97.html>, 07/07/1999.
- [COE98] C. Coetzee, C. Botha, D. Weber, PC Based Number Plate Recognition System, Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Electronics, 1998
- [GON93] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, Chapter 3, September 1993.
- [HTS98] High Tech Solution, **SeeCar**, <http://www.htsol.com>
- [JAI89] A. K. Jain, Fundamentos of Digital Image Processing, Prentice Hall, USA 1989.
- [SOU00] F. P. C. Souza, A. A. Susin, Localização e Leitura Automática de Caracteres Alfanuméricos – Uma Aplicação na Identificação de Veículos, Dissertação de Mestrado, CPGE – UFRGS, março de 2000.