

Pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de visão computacional para o reconhecimento de passageiro frontal com cinto de segurança

Rafael M. Kotchergerko, Marcelo D. Lopes, Eros Comunello

4Vision Lab – Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) – Florianópolis, SC – Brasil

kochenko@edu.univali.br, marcelo.cc@univali.br, eros.com@univali.br

***Abstract.** This paper describes an automated method for the recognition of the use of seat belts for front occupants of vehicles. The software makes use of concepts of Computer Vision in each of its stages, whose these are: Background Subtraction, Vehicle Recognition, Windshield Recognition, Front Passenger Recognition and Seat Belt Recognition. The method showed good results when analyzing frames with favorable characteristics, correctly recognizing the front passenger and his seat belt in 75% of cases.*

***Resumo.** Este artigo descreve um método automatizado para o reconhecimento do uso de cinto de segurança por ocupantes frontais de automóveis. O software faz uso de conceitos de Visão Computacional em cada uma de suas etapas: Subtração de Background, Reconhecimento de Automóvel, Reconhecimento de Para-brisa, Reconhecimento de Passageiro Frontal e Reconhecimento de Cinto de Segurança. O método mostrou bons resultados ao analisar quadros com características favoráveis, reconhecendo corretamente o passageiro frontal e a utilização do cinto pelo mesmo em 75% dos casos.*

1. Introdução

De acordo com Gomes (2013), o Brasil é o 4º país com maior número de mortes no trânsito. Cerca de 1.400 pessoas morrem a cada mês no trânsito brasileiro, número que supera o de vítimas em algumas regiões em guerra. Pendola (2009) aponta que, de acordo com a NHTSA (National Highway Transportation Safety Administration), o uso de cinto de segurança por passageiros frontais reduz em 45% as chances de os mesmos sofrerem ferimentos fatais.

Apesar da evidente importância do uso de cinto de segurança, não existe atualmente, no âmbito nacional, uma solução para o monitoramento automatizado do seu uso. O monitoramento; usando-se o sistema visual humano; de um grande número de automóveis, acaba por se tornar uma tarefa exaustiva e ineficiente. Isto agrava-se na realidade nacional, em que o tráfego veicular está cada vez mais elevado. Uma ferramenta que reconheça a utilização do cinto de segurança, de forma automatizada, é uma solução viável que pode vir a facilitar o trabalho dos fiscais de trânsito.

Este trabalho teve por base o trabalho de Chiarella (2013), no qual foi desenvolvido um algoritmo que consegue reconhecer o uso do cinto de segurança pelo motorista. Nos casos em que o para-brisa veicular foi corretamente extraído, o algoritmo base apresentou boa acurácia ao tentar reconhecer o cinto de segurança. No entanto, devido a falta de precisão ao extrair esta região, existe um grande número de falsos positivos relativos ao reconhecimento do cinto. Neste trabalho foi proposto um refinamento do algoritmo base, acrescentando a tarefa de reconhecimento de passageiro frontal e de uso de cinto de segurança pelo mesmo, além do refinamento do método de extração de para-brisa.

A seção 2 resume os trabalhos realizados que tratam das mesmas questões que são destaques no presente trabalho, como reconhecimento de para-brisa, cinto de segurança e passageiro. Na seção 3 está explicada cada etapa do desenvolvimento do projeto, em cada uma das subseções. A seção 4 apresenta os resultados obtidos através de testes do sistema desenvolvido, e na seção 5 estão presentes as conclusões que puderam ser tomadas a partir dos resultados observados.

2. Revisão Bibliográfica

Um dos principais desafios presentes neste trabalho é o de reconhecer corretamente o para-brisa dos automóveis, de forma a destacá-lo do resto da imagem. Xue, Yifei e Xueye (2012) propõem um método inovador que faz o reconhecimento combinando as informações da cor, forma e complexidade para gerar um formalismo próprio. Um dos primeiros passos do algoritmo é a segmentação de imagem e o uso da Transformada de Hough na imagem segmentada.

O objetivo é que linhas verticais e horizontais delimitem a área em que está contido o para-brisa do automóvel (Figura 1(a)). Como pode ser gerada mais que uma área, o formalismo citado se responsabiliza por escolher qual área melhor representa um para-brisa. Posteriormente é usado um método baseado em descritores HOG (*Histogram of Oriented Gradients*) em conjunto com AdaBoost (algoritmo de aprendizado de máquina) para buscar os ocupantes do automóvel.

Outro problema bastante comum é o de tratar a falta de nitidez do interior do automóvel, causada principalmente pelas características do para-brisa. Como o para-brisa tem propriedades que fazem ele causar reflexo, além de refletir iluminação e diminuir o contraste do interior, a utilização de infravermelho pode vir a ser de grande ajuda para se obter uma imagem mais nítida dos passageiros frontais. Isto é verdade principalmente no casos em que há muito pouca iluminação ou em que os vidros possuem películas escuras nos vidros.

Em Xue *et al.* (2012) métodos semelhantes são usados para extração do para-brisa e reconhecimento de passageiros, contudo as imagens são capturadas fazendo uso de NIR (*near infra-red*) emitido por iluminadores instalados em ambos lados da rodovia (Figura 1(b)), iluminando o interior dos automóveis. O estudo concluiu que o infravermelho próximo pode ajudar no reconhecimento dos passageiros, pois o mesmo elimina a reflexão que pode existir no para-brisa dos automóveis.

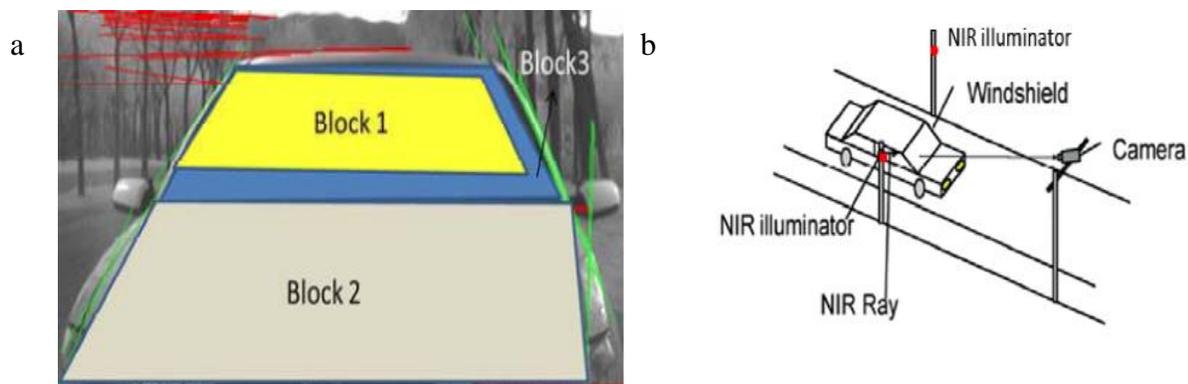


Figura 1. (a) Regiões resultantes da divisão por linha. (b) Modelo da aplicação do sistema utilizando infravermelho

O trabalho de Guo *et al.* (2011) apresenta um método de detecção do cinto de segurança através de câmeras de monitoramento. O primeiro passo do algoritmo é a conversão da imagem original para o formato HSV, que por conta do canal S (saturação), deixa a identificação da placa frontal do automóvel mais fácil. Através da localização da placa se obtém a divisão vertical, traçando-se uma reta vertical a partir de sua lateral, de modo que a região do motorista fique limitada por um comprimento de $\frac{2}{3}$ referente a placa veicular.

A divisão horizontal é feita com o auxílio do para-brisa, e se considera o topo da área do motorista como sendo o topo do para-brisa, com a altura estendendo-se até $\frac{2}{3}$ da altura do mesmo. Quando a área já está bem limitada (Figura 2(a)), inicia-se a procura pelas bordas do cinto.

A região é dividida em duas partes por uma reta com angulação de 50 a 70 graus (raio de angulação que o cinto de segurança tem quando colocado corretamente) a partir de um determinado ponto. Ao se obter uma grande mudança na coloração entre as duas regiões, é grande a chance de o píxel neste ponto fazer parte da borda do cinto, assim como a direção do cinto ser igual a angulação dada.

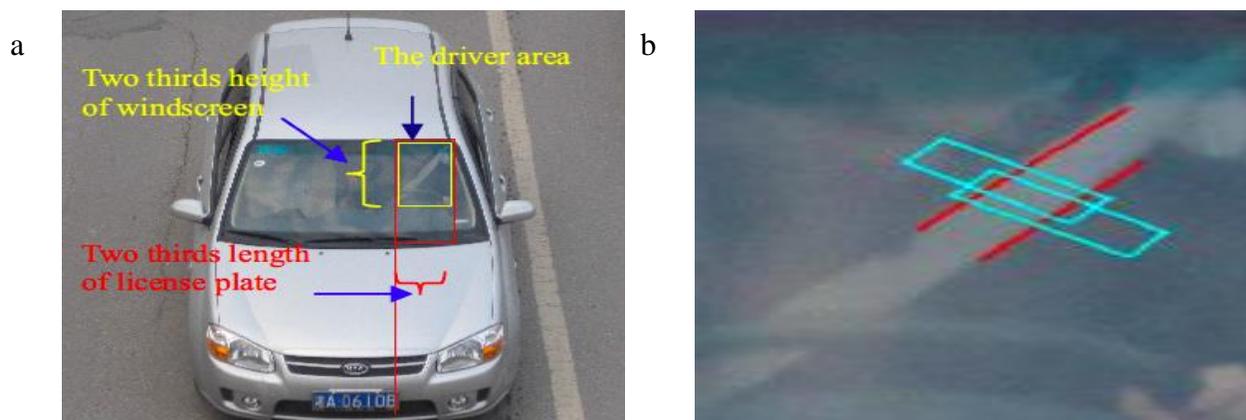


Figura 2. (a) Representação do modelo de busca da região do motorista. (b) Representação do modelo de busca da região do motorista.

Posteriormente é usado o método de detecção de linhas Hough nas bordas encontradas. O algoritmo seleciona as retas com os menores ângulos encontrados, e traça dois retângulos em cada uma delas. É extraído da imagem original duas partes dela, sendo que elas tem a mesma área e localização dos triângulos traçados (Figura 2(b)). É usado Sobel para a detecção de bordas verticais nas partes extraídas, para em seguida se realizar projeções horizontais que geram os histogramas que irão verificar a presença do cinto de segurança.

O trabalho de Liu, Xiaotao e Yurong (2008) apresenta um novo método para a detecção do cinto de segurança, usando um algoritmo derivado do RHT (Randomized Hough Transformed), chamado de LRHT (Local Randomized Hough Transformed), para buscar o centro do volante. A localização do centro do volante serve como base para se ter uma referência sobre o cinto de segurança, enquanto que a derivação do algoritmo RHT se deu por conta de seu alto consumo computacional. Com a premissa de que o para-brisa já está devidamente localizado, o processo inicia-se com a imagem processada pelo detector de bordas de Canny (Figura 3(a)). A partir de então busca-se pelos círculos presentes na imagem com o objeto de encontrar o centro do verdadeiro círculo de interesse, que é o volante.

O trabalho mostra, entretanto, que existe um diferencial entre os arcos, que é a consecutividade. Como visto na Figura 3(b), o arco acima é inconsecutivo, enquanto o arco mais abaixo é consecutivo. Por isso criou-se o LRHT, método que incorpora um conceito de processamento de imagem chamado de “component conectado”. Os autores concluíram que o novo método não só melhora a acurácia na detecção do centro do volante, como também pode reduzir significativamente o tempo computacional.



Figura 3: (a) Resultado do algoritmo Canny. (b) Os dois círculos presentes na imagem.

2. Desenvolvimento

O objetivo do presente trabalho foi refinar o método desenvolvido pelo trabalho base adicionando uma etapa de reconhecimento do uso de cinto de segurança pelo passageiro frontal; além de buscar melhorar a etapa de extração do para-brisa. O método desenvolvido pode ser separado em cinco etapas, por isso cada uma delas estão descritas nas subseções seguintes.

2.1. Subtração de *background*

Inicialmente o primeiro quadro da captura é extraído para servir como quadro de referência. Este quadro deve representar um cenário estático (no caso, uma rodovia sem automóveis), chamado também de *background*. Os quadros seguintes (Figura 5(a)) são subtraídos pelo *background*, e o resultado da operação é uma imagem limiarizada (Figura 5(b)) que destaca o que há de novo no frame seguinte (*foreground*). Com isto é possível localizar a área dos objetos que se moveram dentro da cena capturada (ou entraram nela).

Para realizar a subtração de *background* foi usado um modelo de *background* adaptativo, o que evita problemas referentes a alterações graduais esperadas no cenário, como mudança de iluminação ao longo de um dia. O algoritmo também faz o reconhecimento de sombras, de modo que a mesma não seja erroneamente classificada como parte dos automóveis.

2.2. Reconhecimento de automóvel

Os píxeis pertencentes ao *foreground* são agrupados através da segmentação por crescimento de região. É determinado que existe um automóvel no quadro se o conjunto resultante da segmentação possuir uma área com uma quantidade de píxeis maior que um limiar definido. Para representar o sucesso do reconhecimento um *bounding box* é desenhado, delimitando a área do objeto. Com o objetivo de eliminar falsos positivos de reconhecimento de cinto de segurança no para-choque dos automóveis, a metade superior da área do automóvel é extraída. A imagem resultante desta etapa pode ser vista na Figura 5(c).

2.3. Reconhecimento de para-brisa

O para-brisa é buscado dentro da área extraída do automóvel. Através de testes foi observado que o para-brisa é, geralmente, a área mais escura do automóvel, e por conta disto é realizada a busca pelos píxeis mais escuros. Para saber quais são estes píxeis, é obtida primeiramente a média de cor dos píxeis que foram considerados *foreground*. É realizada outra segmentação por crescimento de região, desta vez agrupando os píxeis que possuam valores de cor menores do que a metade da média de cor dos píxeis pertencentes ao *foreground*. O para-brisa é reconhecido e extraído se a área segmentada for maior que um limiar estabelecido, e se esta área não possuir altura maior que largura. A Figura 5(d) apresenta a área extraída nesta etapa, considerada como sendo a região do para-brisa.

2.3.1. Refinamento do método de extração

Como os falsos positivos referentes ao reconhecimento do cinto de segurança se concentravam na área do para-choque, passou-se a eliminar o mesmo no momento da extração dos automóveis. O falso positivo também ocorria quando o algoritmo considerava dois automóveis muito próximos como sendo apenas um (Figura 4). Este problema foi resolvido reduzindo-se o limiar que determina o quão grande deve ser a área do objeto reconhecido para ele ser classificado como um automóvel.

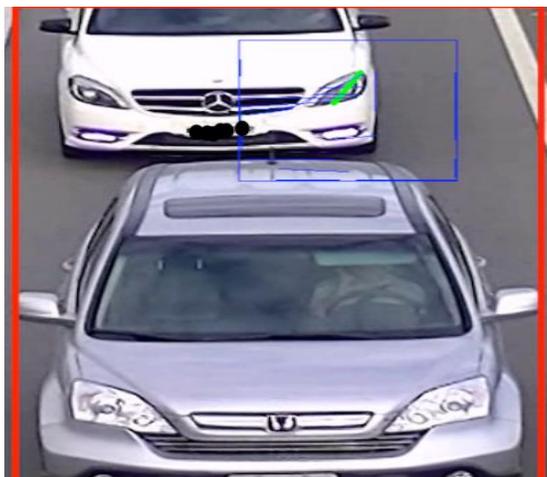


Figura 4. Falso positivo de reconhecimento de cinto de segurança na área do parachoque, devido à proximidade entre os dois automóveis

2.4. Reconhecimento de passageiro frontal

A imagem do para-brisa é alterada para o espaço de cor HSV (hue-saturation-value), com o canal de saturação isolado (Figura 5(e)). Foi visto que a imagem resultante pode apresentar um destaque visual em relação aos passageiros frontais, e ao cinto de segurança. Dois histogramas são gerados, um a partir da metade esquerda do para-brisa (passageiro frontal) e outro a partir da metade direita (motorista). Os histogramas são comparados através da correlação de Pearson, utilizando-se as seguintes equações:

$$d(H_1, H_2) = \frac{\sum_I (H_1(I) - \bar{H}_1)(H_2(I) - \bar{H}_2)}{\sqrt{\sum_I (H_1(I) - \bar{H}_1)^2 \sum_I (H_2(I) - \bar{H}_2)^2}} \quad (1)$$

$$\bar{H}_k = \frac{1}{N} \sum_J H_k(J) \quad (2)$$

Se o coeficiente resultante for maior que o limiar estabelecido (quanto maior o coeficiente, maior a similaridade), é considerado que existe um passageiro frontal no quadro. Um retângulo é desenhado na metade esquerda do para-brisa quando o passageiro frontal é reconhecido.

2.5. Reconhecimento de cinto de segurança

O cinto de segurança do passageiro frontal é buscado somente se o mesmo foi previamente reconhecido no quadro. O cinto de segurança do motorista é buscado na metade direita do para-brisa, e o cinto de segurança do passageiro frontal na metade esquerda. A imagem do para-brisa é

alterada para a escala de cinza, e em seguida é feita a detecção de bordas na imagem transformada (Figura 5(f)). Em seguida é usada a técnica Transformada de Hough, de forma a buscar retas com características de comprimento (de pelo menos 30 píxeis) e angulação (entre 17 e 47 graus para o cinto do motorista, e entre 133 e 163 graus para o cinto do passageiro frontal) similares às observadas em cintos de segurança, quando estes estão em uso. Retas são desenhadas encima dos píxeis considerados como parte dos cintos de segurança, quando estes forem reconhecidos (Figura 6).



Figura 5. (a) Quadro de entrada. (b) Resultado da subtração (píxeis brancos representam o *foreground*, os píxeis pretos o *background* e os píxeis cinzas as sombras). (c) Imagem resultante da extração do automóvel. (d) Imagem resultante da extração do para-brisa. (e) Imagem do para-brisa com o componente de saturação isolado. (f) Imagem resultante do para-brisa ao se aplicar o método de detecção de bordas.

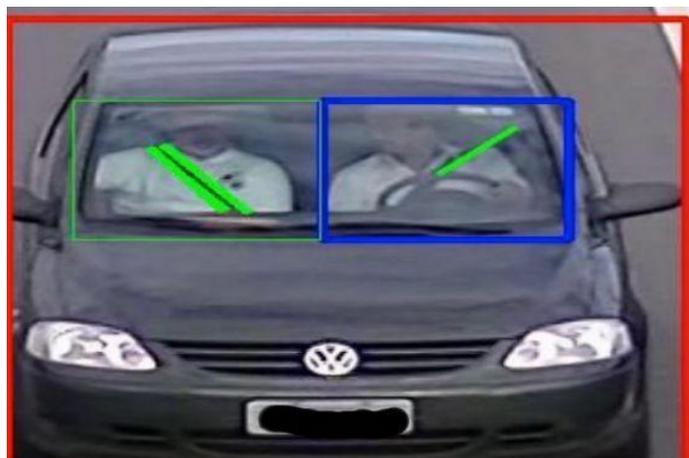


Figura 6. Resultado final da análise do quadro, com o reconhecimento correto da presença do passageiro frontal e do uso dos cintos de segurança frontais

3. Resultados

Os testes foram realizados com duas gravações em condições distintas, sendo que em uma os automóveis estão sempre na sombra e a câmera está posicionada de frente para eles, e na outra os automóveis estão sob o sol e a câmera está na sua diagonal. Poder realizar os testes com esses diferentes cenários foi importante para avaliar o sistema, já que o mesmo é sensível a angulação e ao excesso de luz.

Foram testados cinco tipos diferentes de comparação entre a área do passageiro e do motorista, porém testes com os métodos de comparação de histogramas *Intersection* e *Bhattacharyya distance* foram logo descontinuados por não estarem classificando corretamente a presença ou ausência do passageiro frontal. Ao testar mais profundamente o método de Média de Saturação e os métodos de comparação de histogramas *Correlation* e *Chi-Square*, foi visto uma grande semelhança de resultados entre os três métodos. Contudo, o método de *Correlation* gerou um número menor de falsos positivos em relação ao passageiro frontal quando comparado ao número de falsos positivos gerados pelos outros métodos.

O maior problema enfrentado durante os testes foi estabelecer qual o grau de similaridade que as áreas devem ter para ser considerada a existência de um passageiro no frame. Como cada método possui um sistema de classificação diferente, determinar o melhor limiar para cada um dos métodos foi um desafio. Portanto procurou-se escolher um limiar que não fosse muito "fraco"; indicando a presença do passageiro em muitos casos em que ele não existe (falso positivo), e que não fosse muito "forte"; indicando a ausência de passageiro em muitos casos em que ele existe (falso negativo).

O limiar escolhido para esta solução foi $Correlation > 0.9$, ou seja, caso o resultado da comparação dos histogramas seja maior que 0.9 (de acordo com o método *Correlation*, quanto mais próximo de um é o resultado, mais similares são os histogramas), é determinado que existe um passageiro frontal no automóvel. Os resultados podem ser visualizados nas tabelas a seguir.

Tabela 1. Análise de automóveis da primeira filmagem

Possui passageiros			Sem passageiros	
Automóvel	Detectou passageiro	Detectou cinto	Automóvel	Detectou cinto
Automóvel 1	Sim	Sim	Automóvel 1	Sim
Automóvel 2	Sim	Sim	Automóvel 2	Sim
Automóvel 3	Sim	Não (Sem cinto)	Automóvel 3	Não
Automóvel 4	Sim	Sim	Automóvel 4	Não
Automóvel 5	Sim	Sim	Automóvel 5	Não
Automóvel 6	Sim	Não (Sem cinto)	Automóvel 6	Não
Automóvel 7	Sim	Sim		
Automóvel 8	Não	Não		
Automóvel 9	Não	Não		
Automóvel 10	Sim	Sim		

Tabela 2. Análise de automóveis da segunda filmagem (difícil de afirmar a presença do cinto)

Possui passageiros			Sem passageiros	
Automóvel	Detectou passageiro	Detectou cinto	Automóvel	Detectou passageiro
Automóvel 1	Sim	Não	Automóvel 1	Não
Automóvel 2	Não	Não	Automóvel 2	Não
Automóvel 3	Não	Não	Automóvel 3	Não
Automóvel 4	Não	Não	Automóvel 4	Não
Automóvel 5	Não	Não	Automóvel 5	Não
Automóvel 6	Não	Não	Automóvel 6	Não
			Automóvel 7	Não
			Automóvel 8	Não
			Automóvel 9	Não
			Automóvel 10	Não

4. Conclusão

Considerando que o sistema conseguiu reconhecer corretamente a presença do passageiro frontal em 75% dos casos (quando as características da captura são favoráveis), é possível afirmar que o objetivo do trabalho foi alcançado. O método de identificação de para-brisa precisou ser apenas refinado para este projeto, de modo que foram implementadas algumas medidas para que a sua exatidão não ficasse comprometida. Por considerar a angulação do cinto, para seu reconhecimento, o algoritmo apresenta uma limitação quanto a capturas das imagens, de modo que as mesmas devem ser realizadas de frente para os automóveis. Também por trabalhar com subtração de *background* existe o risco do mal funcionamento da aplicação quando considerado o cenário de fila de carros, já que nesta situação os próprios carros serão considerados o *background* da imagem.

Apesar dessas limitações, a aplicação se mostra com bastante potencial, pois apresentou uma boa taxa de acertos quando existem boas condições de filmagem (Tabela 1). Contudo, ao analisar a filmagem que apresenta condições desfavoráveis (Tabela 2), como excesso de iluminação e posição curva em relação aos carros, sua taxa de acerto caiu drasticamente. Os carros que continham um interior de difícil visualização, por causa das películas escuras, foram descartados dos testes. Todos os testes foram realizados com o uso de um notebook com o sistema operacional Ubuntu v13.10, memória RAM DD3 (*Double-Rate-Date*) de 4GB (*Gigabytes*) e processador Intel Core i3 com 1.80 GHz (*Gigahertz*).

Apesar de o sistema reconhecer corretamente o passageiro frontal e os cintos de segurança frontais na maioria dos casos, como mostra as tabelas, entende-se que é possível melhorar a sua acurácia. Diferentes abordagens podem ser usadas para o aperfeiçoamento do sistema, como a utilização de diferentes métodos para a comparação de histogramas. Também é recomendável o teste de novas abordagens em relação ao modo de captura, como o uso de câmera com infravermelho e com melhor resolução, o que pode melhorar consideravelmente a acurácia do sistema.

Referências

- CHIARELLA, Vito. Detecção da utilização de cinto de segurança em automóveis em movimento. In: XII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12th, 2013, Itajaí. Anais... Itajaí: UNIVALI, 2013. p.51.
- Gomes, L. F. Mortes no trânsito: Brasil é o 4º do mundo.
<<http://professorlfg.jusbrasil.com.br/artigos/113704460/mortes-no-transito-brasil-e-o-4-do-mundo>>. Acessado em: 14/09/2014.
- GUO, Huiwen; LI, Shitao; LIN, Hui; ZHANG, Shaohua. (2011). Image-based seat belt detection. International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES).
- LIU, Jianli; XIAOTAO, Shi; YURONG, Luo. (2008). An improved method of RHT to localize circle applied in Intelligent Transportation System. International Conference on Language and Image Processing (ICALIP).
- PENDOLA, Rocco. What Are the Dangers of Not Wearing Your Seatbelt?
<http://www.ehow.com/list_6372467_dangers-not-wearing-seatbelt_.html>. Acessado em: 14/09/2014
- XUE Yuan, YIFEI Meng, XIAOLI Hao, HOUJIN Chen, XUEYE Wei. (2012). A vehicle occupant counting system using near-infrared (NIR) image. International Conference on Signal Processing (ICSP).
- XUE Yuan, YIFEI Meng, XUEYE Wei. (2012). A method of location the vehicle windshield region for vehicle occupant detection system. International Conference on Signal Processing (ICSP).