



**Mauricio Azevedo Lage Ferreira**

**Vigilância e Monitoramento em Tempo Real  
de Veículos em Rodovias com Câmeras  
Não-Calibradas**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Informática do Departamento de Informática da PUC-Rio.

Orientador: Marcelo Gattass

Rio de Janeiro  
Junho de 2008



**Mauricio Azevedo Lage Ferreira**

**Vigilância e Monitoramento em Tempo Real  
de Veículos em Rodovias com Câmeras  
Não-Calibradas**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico e Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Marcelo Gattass**  
**Orientador**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. Waldemar Celes Filho**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. Luiz Henrique Figueredo**

Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada – IMPA

**Prof. José Reynaldo Setti**

Universidade de São Paulo – USP

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro  
Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 20 de Junho de 2008

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador

### **Mauricio Azevedo Lage Ferreira**

Graduou-se em Engenharia da Computação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 2005. Especializou-se na área de Computação Gráfica e Visão Computacional também pela PUC-Rio. Trabalhou junto ao laboratório TecGraf no desenvolvimento de algoritmos da área.

#### Ficha Catalográfica

Ferreira, Mauricio Azevedo Lage

Vigilância e monitoramento em tempo real de veículos em rodovias com câmeras não-calibradas / Mauricio Azevedo Lage Ferreira ; orientador: Marcelo Gattass. – 2008.

69 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Informática)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia

1. Informática – Teses. 2. Vigilância eletrônica. 3. Monitoramento do tráfego. 4. Subtração de fundo. 5. Tracking. 6. Detecção de sombras e oclusão. I. Gattass, Marcelo. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

## Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Marcelo Gattass pelo estímulo e parceria para a realização deste trabalho.

Ao Tecgraf e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

À minha namorada Natalia, pelas importantes contribuições e palavras de apoio.

Aos meus pais, pela educação, atenção e carinho de todas as horas.

Aos meus colegas da PUC-Rio e do Tecgraf.

Aos professores que participaram da Comissão examinadora.

Ao professor José Reynaldo Setti pelos vídeos de rodovias fornecidos para este trabalho.

A todos os professores e funcionários do Departamento pelos ensinamentos e pela ajuda.

A todos os amigos e familiares que de uma forma ou de outra me estimularam ou me ajudaram.

## Resumo

Ferreira, Mauricio A. L.; Gattass, Marcelo. **Vigilância e Monitoramento em Tempo Real de Veículos em Rodovias com Câmeras Não-Calibradas**. Rio de Janeiro, 2008. 69p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Sistemas computadorizados de vigilância de veículos têm despertado grande interesse devido à demanda para automatizar tarefas que atualmente são realizadas por operadores humanos. Porém, para realizar estas tarefas é preciso resolver alguns problemas clássicos de visão computacional como sombras, oclusões e variação de iluminação. Este trabalho propõe algoritmos em tempo real para máquinas de baixo custo com o objetivo de rastrear, classificar e determinar a velocidade de cada veículo de uma rodovia.

## Palavras-chave

Vigilância eletrônica, monitoramento do tráfego, subtração de fundo, tracking, detecção de sombras e oclusão.

## Abstract

Ferreira, Mauricio A. L.; Gattass, Marcelo. **Surveillance and Monitoring of Vehicles in Real Time at Highways with Non-Calibrated Cameras.** Rio de Janeiro, 2008. 69p. MsC Thesis – Department of Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Vehicle surveillance computerized systems have grown great interest due to the automatizing duties demand, which recently executed by computer vision like shadows, occlusion and light variation have to be solved. The present work proposes real time algorithms for low cost machines focused on tracking, classifying and determining each vehicle's speed on a highway.

## Keywords

Electronic surveillance, traffic monitoring, background subtraction, tracking, shadow detection and removal, occlusion reasoning.

# Sumário

1. Introdução	11
2. Subtração de fundo	14
2.1. Classificação	19
2.2. Resultados parciais	21
2.3. Conclusões parciais	26
3. Vigilância para veículos	27
3.1. Modelagem de veículos	28
3.2. Detecção e remoção de sombras	32
3.2.1. Abordagem	32
3.2.2. Resultados parciais	36
3.2.3. Conclusões parciais	37
3.3. Transformação projetiva	38
3.3.1. Abordagem	38
3.3.2. Resultados parciais	39
3.4. Detecção e remoção de oclusão	41
3.4.1. Abordagem	41
3.4.2. Resultados parciais	42
3.4.3. Conclusões parciais	43
3.5. Rastreamento de Veículos	44
3.5.1. Abordagem	44
3.5.2. Resultados parciais	45
3.5.3. Conclusões parciais	46

3.6. Classificação de veículos	48
3.6.1. Abordagem	48
3.6.2. Resultados parciais	49
3.6.3. Conclusões parciais	49
3.7. Determinação da velocidade	50
3.7.1. Abordagem	50
3.7.2. Resultados parciais	51
3.7.3. Conclusões parciais	52
4. Conclusões e considerações finais	53
Apêndices	54
A Tabelas dos resultados da subtração de fundo	57
B Tabelas dos resultados da detecção e remoção de sombras	59
C Tabela do resultado da transformação projetiva	60
D Tabela do resultados da detecção e remoção da oclusão	61
E Tabelas dos resultados do rastreamento	62
F Tabela do resultados da classificação	63
G Tabelas dos resultados do cálculo da velocidade	64
5 Referências	54



## Índice de Figuras

Figura 1 - Cenário de exemplo para o modelo de vigilância	12
Figura 2 - Plano cromático do espaço IHSL. Retirado de [10]	16
Figura 3 - Resultado da etapa de pós-processamento da subtração de fundo	20
Figura 4 - Os quatro vídeos selecionados para os testes da subtração de fundo: (a) Highway1, (b) Highway2, (c) Passarela 1 e (d) Passarela 2	22
Figura 5 - Resultados comparativos de alguns dos algoritmos de subtração de fundo selecionados	23
Figura 6 - Resultado da medida F para os testes da subtração de fundo dos algoritmos selecionados	24
Figura 7 - Comparação de FPS dos algoritmos de subtração de fundo	25
Figura 8 - Gráfico comparativo do consumo de memória dos algoritmos de subtração de fundo	26
Figura 9 - Fluxograma do modelo proposto	27
Figura 10 - Modelagem para veículos de (a) Ma et al. [15], (b) Leotta et al. [16], (c) Rother et al. [17] e (d) Wai-Sing et al. [18]	29
Figura 11 - (a) RTV de um veículo, (b) Pistas segmentadas de uma rodovia	30
Figura 12 - Representação do MSPA	31
Figura 13 - Resultado da segmentação da sombra utilizando abordagem de cor	33
Figura 14 - (a) Modelo da sombra; e (b) os seis tipos de sombras projetadas para cada direção de iluminação. Retirado de Yoneyama et al. [4]	34
Figura 15 - Seis tipos possíveis da sombra em um MSPA (Yoneyama et al. [4])	36
Figura 16 - Resultado da segmentação das sombras utilizando a abordagem geométrica	36

Figura 17- Imagem da cena real e da sua respectiva projeção no plano para os vídeos: (a) “Highway 2” e (b) “Velocidade”	40
Figura 18 - Etapas da remoção de oclusão	43
Figura 19 - Fluxograma do algoritmo de rastreamento	46
Figura 20 - Área de seleção para medição da velocidade	51
Figura 21 - Gráfico de porcentagem de acerto da velocidade ao longo do vídeo em relação aos dados obtidos pelo radar	52