

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

***RODOLFO CARLOS NICOLAZZI PHILIPPI***

**A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DOS SISTEMAS DE CONTROLE  
RODOVIÁRIO**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.**

**Florianópolis**

**1999**

# **A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DOS SISTEMAS DE CONTROLE RODOVIÁRIO**

# **A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DOS SISTEMAS DE CONTROLE RODOVIÁRIO**

***RODOLFO CARLOS NICOLAZZI PHILIPPI***

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.**

**Área de Concentração: Infra-estrutura e Gerência Viária**

**Orientador: Prof. Dr. Amir Mattar Valente**

**Florianópolis**

**1999**

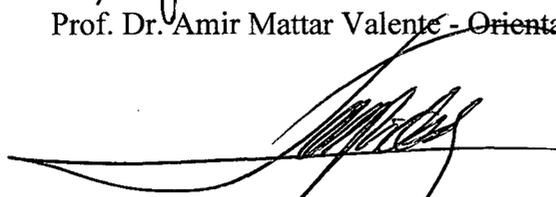
## FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 01 / 10 / 99,  
pela comissão examinadora



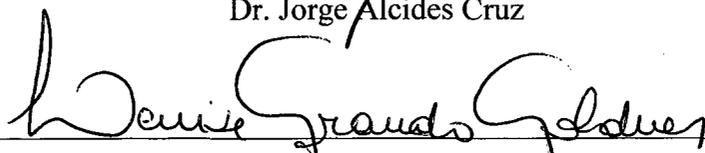
---

Prof. Dr. Amir Mattar Valente - Orientador - Moderador



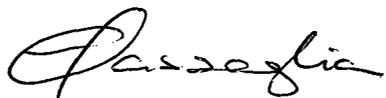
---

Dr. Jorge Alcides Cruz



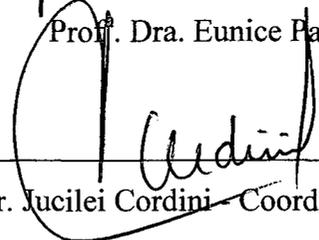
---

Prof.ª. Dra. Lenise Grando Goldner



---

Prof.ª. Dra. Eunice Passaglia



---

Prof. Dr. Jucilei Cordini - Coordenador do CPGEC

Aos  
meus Pais  
pelo incentivo e dedicação

## AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo amor e compreensão, que foram fundamentais para a obtenção deste título.

À minha namorada, Cris, que nas horas difíceis sempre esteve ao meu lado, com seu apoio e carinho.

Aos colegas de curso e amigos, em geral, pelo incentivo, idéias e solidariedade demonstrada.

Ao Prof. Amir Mattar Valente, pela amizade, confiança e segurança com que orientou esta dissertação.

Ao Departamento de Engenharia Civil da UFSC, pelas condições proporcionadas, para a o desenvolvimento do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) que, através do seu programa de financiamento, possibilita a existência dos cursos de pós-graduação.

Aos professores Dr. Jorge Alcides Cruz, Dra. Lenise Grando Goldner, Dra. Eunice Passaglia, pela disponibilidade e atenção.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS</b> .....	xiv
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xvi
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS</b> .....	xvii
<b>RESUMO</b> .....	xxi
<b>ABSTRACT</b> .....	xxii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	23
1.1. O Problema e o Tema.....	24
1.2. Objetivos e Hipóteses.....	26
1.3. Metodologia.....	28
1.4. Limites do Trabalho.....	28
1.5. Desenvolvimento do Trabalho.....	29
<b>2. OS PROBLEMAS RELACIONADOS AO CONTROLE DE TRÁFEGO RODOVIÁRIO</b> .....	32
2.1. Introdução.....	32
2.2. Estado-da-Arte.....	32
2.3. Estado-da-Prática.....	38
2.4. A Situação Brasileira.....	40
<b>3. OS SISTEMAS INTELIGENTES E A GESTÃO RODOVIÁRIA</b> .....	50
3.1. Introdução.....	50
3.2. Conceito.....	50
3.3. Histórico.....	51
3.4. Funções dos ITS.....	54
3.5. Definições Técnicas Básicas.....	56
3.6. Tecnologias Aplicadas aos Sistemas Inteligentes de Transporte Rodoviário.....	58
3.6.1. Introdução.....	58
3.6.2. Detecção de Veículos.....	59
3.6.2.1. Introdução.....	59
3.6.2.2. Tipos de Detectores.....	60
3.6.3. Classificação Automática de Veículos.....	61

3.6.3.1. Introdução.....	61
3.6.3.2. Elementos da Classificação de Veículos.....	62
3.6.3.3. Funcionamento.....	62
3.6.3.4. Equipamentos.....	63
3.6.4. Identificação Automática de Veículos (AVI).....	65
3.6.4.1. Introdução.....	65
3.6.4.2. Tecnologias.....	65
3.6.4.2.1. Sistemas Laser.....	66
3.6.4.2.2. Sistemas de Rádio-freqüência.....	66
3.6.5. Sistemas de Captura e Processamento de Imagens.....	70
3.6.5.1. Introdução.....	70
3.6.5.2. Tecnologias.....	70
3.6.5.3. Funcionamento.....	72
<b>4. GERENCIAMENTO AVANÇADO DE VIAGENS-ATM.....</b>	<b>74</b>
4.1. Introdução.....	74
4.2. ATMS - Sistemas Avançados de Monitoramento do Tráfego.....	74
4.3. ATIS - Sistemas Avançados de Informações aos Viajantes.....	75
4.4. O Programa ATM - USDOT / FHWA.....	76
4.4.1. Objetivos.....	76
4.4.2. Pesquisas e Testes Operacionais.....	76
4.4.3. Benefícios Projetados.....	77
4.5. ITI - Infra-estrutura Inteligente de Transporte do Programa USDOT / FHWA.....	77
4.5.1. Introdução.....	77
4.5.2. Conceito.....	78
4.5.3. Sistema Multimodal de Informações aos Viajantes.....	78
4.5.3.1. Descrição.....	78
4.5.3.2. Benefícios.....	79
4.5.3.3. Projetos e Atividades Relacionadas aos Sistemas Multimodais de Informações aos Viajantes.....	79
4.5.4. Sistema de Controle de Semáforo.....	80
4.5.4.1. Descrição.....	80
4.5.4.2. Benefícios.....	81
4.5.4.3. Projetos e Atividades Relacionadas aos Sistemas de Controle de Semáforo.....	81

4.5.5. Sistema de Gerenciamento de Rodovias.....	81
4.5.5.1. Descrição.....	81
4.5.5.2. Benefícios.....	82
4.5.5.3. Projetos e Atividades Relacionadas ao Gerenciamento de Rodovias.....	82
4.5.6. Sistema de Gerenciamento do Trânsito.....	83
4.5.6.1. Descrição.....	83
4.5.6.2. Benefícios.....	83
4.5.6.3. Projetos e Atividades Relacionadas aos Gerenciamento do Trânsito.....	84
4.5.7. Programa de Gerenciamento de Incidentes.....	84
4.5.7.1. Descrição.....	84
4.5.7.2. Benefícios.....	85
4.5.7.3. Projetos e Atividades Relacionadas aos Sistemas de Gerenciamento de Incidentes.....	85
4.5.8. ETC - Sistemas de Cobrança Eletrônica de Pedágio.....	86
4.5.8.1. Introdução.....	86
4.5.8.2. Descrição.....	86
4.5.8.3. Principais Características do Sistema.....	87
4.5.8.4. Benefícios.....	88
4.5.8.5. Projetos e Atividades Relacionadas aos Sistemas Eletrônicos de Cobrança de Pedágio.....	88
4.6. Exemplos de Projetos ATM - USDOT / FHWA.....	89
4.6.1. ADVANCE - Advanced Driver and Vehicle Advisory Navigation Concept.....	89
4.6.1.1. Descrição.....	89
4.6.1.2. Subsistemas.....	90
4.6.1.3. Organização do Projeto.....	91
4.6.2. FAST-TRAC - Michigan Faster and Safer Travel Through Traffic Routing and Advanced Controls.....	92
4.6.2.1. Descrição.....	92
4.6.2.2. Organização do Projeto.....	93
4.6.3. TRANSMIT - Transcom's System for Managing Incidents and Traffic.....	94
4.6.3.1. Descrição.....	94
4.6.3.2. Serviços.....	95
4.6.3.3. Organização do Projeto.....	95

4.6.4. TRAVINFO - Bay Area Intermodal Traveler Information System.....	95
4.6.4.1. Descrição.....	95
4.6.4.2. Subsistemas.....	97
4.6.4.3. Organização do Projeto.....	98
4.6.5. TRAVLINK.....	98
4.6.5.1. Descrição.....	98
4.6.5.2. Organização do Projeto.....	100
4.7. ERTICO - Programa de Implantação dos ITS (Europa).....	100
4.7.1. Descrição.....	100
4.7.2. Objetivos.....	101
4.7.3. Projetos.....	101
4.7.4. Arquitetura dos Sistemas.....	102
4.7.5. Tecnologias.....	102
4.8. VERTIS - Programa de Implantação dos ITS (Japão).....	103
<b>5. SISTEMAS AVANÇADOS DE CONTROLE DE VEÍCULOS -AVCS.....</b>	<b>106</b>
5.1. Introdução.....	106
5.2. Conceito.....	106
5.3. ACAS - Sistemas Avançados de Prevenção de Colisões.....	106
5.4. AHS - Sistemas Rodoviários Automatizados.....	107
5.4.1. Introdução.....	107
5.4.2. Conceito.....	107
5.4.3. Funcionamento do Sistema.....	107
5.4.4. A Rodovia.....	109
5.4.5. Tecnologia.....	110
5.4.6. Benefícios Projetados ao Sistema Rodoviário.....	112
5.4.6.1. Econômicos.....	112
5.4.6.2. Ambientais.....	112
5.4.6.3. Sociais e Institucionais.....	112
5.4.6.4. Técnicos.....	113
5.4.6.5. Segurança.....	113
5.4.6.6. Confiabilidade.....	113
5.5. Análise da Atual Situação dos Sistemas Avançados de Controle de Veículos.....	114
5.5.1. Introdução.....	114

5.5.2. Pesquisa.....	114
5.5.3. O NAHSC (Consórcio Nacional de Sistemas Rodoviários Automatizados).....	114
5.5.4. Modelos de Desempenho do AHS.....	115
5.5.5. Fundamentos do Controle de Veículos .....	116
5.5.6. Sistemas Operacionais do AHS.....	116
5.5.7. Conceitos Inovadores da Automatização de Veículos.....	118
5.5.8. Tecnologia de Sensores.....	118
5.5.9. Automatização de Veículos Pesados.....	119
5.5.10. Pelotão Dinâmico.....	119
5.5.11. Segurança.....	120
5.5.12. Questões da Política e do Planejamento dos AHS.....	121
5.6. Estudo de Caso: DEMO' 97.....	122
5.6.1. Introdução.....	122
5.6.2. Objetivos.....	123
5.6.3. Arquitetura dos Veículos.....	124
5.6.4. Cenários.....	128
5.6.5. Ilustrações.....	130
<b>6. ITS-APLICAÇÕES E RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>134</b>
6.1. Introdução.....	134
6.2. Exemplos de Aplicações dos ITS.....	134
6.2.1. Houston Transportation and Emergency Management Center (TEMC).....	134
6.2.2. MD Statewide Operations Center.....	136
6.2.3. Montgomery County, Maryland - Transportation Management System.....	137
6.2.4. San Antonio, Texas Advanced Traffic Management System (TransGuide).....	139
6.2.5. Seattle Wide-area Information for Travelers (SWIFT).....	140
6.2.6. Orlando, Florida - TRAV-TEK.....	141
6.2.7. Grayhound Bus Collision Warning System.....	142
6.3. Resultados Obtidos com Aplicações do Gerenciamento Avançado de Viagens.....	142
6.3.1. Sistemas de Gerenciamento de Rodovias.....	143
6.3.2. Sistemas de Controle de Semáforo.....	145
6.3.3. Programa de Gerenciamento de Incidentes.....	148
6.3.4. Sistemas Multimodais de Informação aos Viajantes.....	150
6.3.5. Sistemas de Gerenciamento do Trânsito.....	154

6.3.6. Sistemas Eletrônicos de Pedágio (ETC).....	156
6.4. Análise da Situação Brasileira .....	158
<b>7. A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DO CONTROLE RODOVIÁRIO: DIAGNÓSTICO DOS SISTEMAS.....</b>	<b>161</b>
7.1. Introdução.....	161
7.2. Com Relação ao Processo de Avaliação dos ITS.....	161
7.2.1. A Necessidade da Avaliação.....	161
7.2.2. Tipos de Avaliação.....	162
7.2.3. Métodos de Avaliação.....	162
7.2.4. Estudos Realizados.....	163
7.3. Com Relação aos ATMS.....	164
7.4. Com Relação aos ATIS.....	167
7.5. Com Relação aos ACAS.....	169
7.6. Com Relação aos AHS.....	171
7.7. Com Relação aos Benefícios e Custos dos ITS.....	173
7.7.1. Benefícios.....	173
7.7.2. Custos.....	174
7.7.3. Relação custo-benefício.....	175
<b>8. PROGNÓSTICOS, RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>177</b>
8.1. Introdução.....	177
8.2. Prognóstico para os ITS.....	178
8.2.1. Introdução.....	178
8.2.2. Prognóstico para a Infra-estrutura Inteligente de Transporte.....	179
8.2.3. Prognóstico para os Benefícios e Custos dos ITS.....	182
8.2.4. A Situação Brasileira.....	183
8.3. Recomendações Técnicas.....	185
8.3.1. Recomendações quanto à Arquitetura e Padronização dos ITS.....	185
8.3.1.1. Sinergia.....	185
8.3.1.2. Arquitetura.....	185
8.3.1.3. Padronização.....	188
8.3.2. Recomendações quanto ao Processo de Implantação dos ITS.....	189
8.3.3. Recomendações quanto ao Processo de Avaliação dos ITS.....	189

8.4. Respostas às Questões Levantadas.....	191
8.5. Considerações Finais.....	194
8.6. Sugestões para Futuras Pesquisas.....	195
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>198</b>

## LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

### Figuras:

Figura 3.1 - Organograma ITS.....	57
Figura 3.2 - Cortina de Raios.....	63
Figura 3.3 - Imagem "Laser" Processada.....	64
Figura 3.4 - <i>Transponder</i> .....	69
Figura 3.5 - Câmera Fotográfica para Controle de Tráfego.....	71
Figura 4.1 - Sistema de Monitoramento de Tráfego.....	75
Figura 4.2 - Esquema de funcionamento do TIC.....	89
Figura 4.3 - Arquitetura do MNA.....	90
Figura 4.4 - Estrutura Organizacional do ADVANCE.....	91
Figura 4.5 - Área de cobertura do projeto Fast-Trac.....	92
Figura 4.6 - Fast-Trac-elementos e interfaces do sistema.....	93
Figura 4.7 - Estrutura Organizacional do Fast-Trac.....	93
Figura 4.8 - Praças de pedágio envolvidas no projeto TRANSMIT.....	94
Figura 4.9 - Estrutura Organizacional do TRANSMIT.....	95
Figura 4.10 - Arquitetura do projeto TRAVINFO.....	96
Figura 4.11 - Estrutura Organizacional do TRAVINFO.....	98
Figura 4.12 - Área de cobertura do projeto TRAVLINK.....	99
Figura 4.13 - TRAVLINK-elementos e interfaces do sistema.....	99
Figura 4.14 - Estrutura Organizacional do TRAVLINK.....	100
Figura 5.1 - O Sistema Rodoviário Automatizado.....	108
Figura 5.2 - A Rodovia Automatizada.....	110
Figura 5.3 - Controle Lateral e Longitudinal.....	111
Figura 5.4 - Local da Demo'97.....	123
Figura 5.5 - Rodovia I-15 - Pistas de prova.....	124
Figura 5.6 - Buick Le Sabre adaptado.....	125
Figura 5.7 - Equipamentos Especiais do Veículo Adaptado.....	125
Figura 5.8 - Head-up Display.....	126
Figura 5.9 - Van Adaptada.....	126
Figura 5.10 - Interior do Veículo Adaptado.....	127

Figura 5.11 - Detalhe do Display.....	127
Figura 5.12 - Um Pelotão de Veículos Automatizados.....	130
Figura 5.13 - Buick Le Sabre Controlado Automaticamente.....	131
Figura 5.14 - Perspectiva Interior do Veículo Adaptado.....	131
Figura 5.15 - Interface Computadorizada veículo/motorista - Le Sabre.....	132
Figura 5.16 - Delco's AHS FPD/Control Head.....	132
Figura 8.1 - Arquitetura física para os ITS (Estados Unidos).....	187

**Gráficos:**

Gráfico 2.1 - Redução do número de acidentes com a instalação de controladores de velocidade.....	35
Gráfico 6.1 - Expectativa de Economia de Tempo.....	143

## LISTA DE TABELAS

### Tabelas:

Tabela 1.1 - Objetivos Específicos e Hipóteses.....	26
Tabela 2.1 - Os problemas causados pelos congestionamentos.....	41
Tabela 3.1 - Tecnologia ITS.....	55
Tabela 4.1 - ADVANCE-Função dos subsistemas.....	90
Tabela 4.2 - Serviços oferecidos pelo TRANSMIT.....	95
Tabela 4.3 - TRAVINFO-Função dos subsistemas.....	97
Tabela 6.1 - Sistemas de Gerenciamento de Rodovias - Resumo dos Benefícios.....	144
Tabela 6.2 - Sistemas de Controle de Semáforo - Resumo dos Benefícios.....	146
Tabela 6.3 - Resultados do Sistema de Semáforo Aperfeiçoado de Albiene.....	147
Tabela 6.4 - Programas de Gerenciamento de Incidentes - Resumo dos Benefícios.....	149
Tabela 6.5 - Sistemas de Informação aos Viajantes - Resumo dos Benefícios.....	151
Tabela 6.6 - Sistemas de Gerenciamento do Trânsito - Resumo dos Benefícios.....	154
Tabela 6.7 - Sistemas de Cobrança Eletrônica de Pedágio - Resumo dos Benefícios.....	156
Tabela 6.8 - Cálculo da redução de Emissões com o Uso do ETC.....	158
Tabela 6.9 - Exemplo de Resultados Obtidos com a Implantação de Sistemas Inteligentes de Transportes (Brasil).....	159

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACAS	Advanced Collision Avoidance Systems
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems
ADVANCE	Advanced Driver and Vehicle Advisory Navigation Concept
AFD	Automated Freeway Data
AHS	Automated Highway System
ALI-SCOUT	Autofahrer Leit und Informations
ATIS	Advanced Traveler Information Systems
ATM	Advanced Travel Management
ATMS	Advanced Traffic Management Systems
ATSAC	Automated Traffic Surveillance and Control
AVC	Automatic Vehicle Classification
AVCS	Advanced Vehicle Control Systems
AVI	Automatic Vehicle Identification
AVL	Automatic Vehicle Location
BPR	Bureau of Publics Roads
Caltrans	California Department of Transportation
CCO	Centro de Controle Operacional
CCTV	Closed Circuit Television Surveillance
CET	Companhia de Engenharia de Tráfego
CHART	Chesapeake Highway Advisories Routing Traffic
CHP	California Highway Patrol
Concer	Companhia de Concessão Rodoviária Juiz de Fora
CSAA	California State Automobile Association
CTA	Controle de Tráfego por Área
DAIR	General Motors Driver Aid, Information and Routing
DBS	Data Broadcast System
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
Dersa	Desenvolvimento Rodoviário S/A
DI	Driver Interface

DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DSRC	Dedicated Short Range Communications
EDEN	European Data Exchange Network
EOW	Event Operators Weather
ERGS	Electronic Route Guidance System
ESCORTIS	European Coordination Traffic Information Systems
ETC	Electronic Toll Collection System
FAST-TRAC	Michigan Faster and Safer Travel Through Traffic Routing and Advanced Controls
FETSIM	Fuel Efficient Traffic Signal Management
FHWA	Federal Highway Administration
FMS	Freeway Management System
GLR	Geographical Location Referencing
GPS	Global Positioning System
HITS	Houston Intelligent Transportation Systems
HOV	High Occupancy Vehicle
HSDR	High Speed Data Radio
IBM	International Business Machines
IDLS	Incident Detection and Location System
IDV	Infrastructure Diagnostic Vehicle
ILD	Inductive Loop Detector
IM	Incident Management Programs
Ipea	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ISO	International Standards Organization
ISTEA	Intermodal Surface Transportation Efficiency Act
ITE	Institute of Transportation Engineers
ITI	Intelligent Transportation Infrastructure
ITS	Intelligent Transportation Systems
IVD	Intelligent Vehicle Driver
IVHS	Intelligent Vehicle Highway Systems
LA	Local Agencies
LED	Light Emitting Diode

LDS	Land-line Data Service
MD	Map Database
MNA	Mobile Navigational Assistants
MOEs	Measures of Effectiveness
MTIS	Multimodal Traveler Information System
NAHSC	National Automated Highway System Consortium
NC	Navigation Computer
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
ORV	Obstacle Remove Vehicle
OSU	Ohio State University
PAS	Passing Aid System
PATH	Partners for Advanced Transit and Highway Program
PDA	Personal Digital Assitants
PV	Probe Vehicles
RDS	Radio Data System
RENAVAM	Registro Nacional de Veículos Automotores
RF	Rádio Frequência
RT	Regional Transit
SCATS	Sydney Coordinated Adaptative Control System
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIGNALS	Signal Control system
SOC	Statewide Operations Center
SONET	Synchronous Optical Network
SWIFT	Seattle Wide-area Information for Travelers
TARS	Traveler Advisory Radio System
TATS	Traveler Advisory Telephone System
TELTEN2	Telematics Implementation on the TERN
TEMC	Houston Transportation and Emergency Management Center
TEN-T	Trans-European Network-Transport
TERN	Trans-European Road Network
TIC	Traffic Information System
TLL	Telephone Land Lines

TLS	Traffic Light Synchronization
TMC	Traffic Management Center
TMC	Traffic Message Channel
TRANSCOM	Computer Control Center
TransGuide	Texas Advanced Traffic Management System
TRANSIT	Transit Management System
TRANSMIT	Transcom's System for Managing Incidents and Traffic
TRAVINFO	Bay Area Intermodal Traveler Information System
TRL	Transportation Research Laboratory
TS	Traffic Software
TXDOT	Texas Department of Transportation
USDOT	U.S. Department of Transportation
UTCS	Urban Traffic Control Systems
VCR	Video Cassete Recorder
VERTIS	Vehicle, Road and Traffic Intelligency Society
VMS	Variable Message Sign

## RESUMO

PHILIPPI, R. C. N. *A evolução tecnológica dos sistemas de controle rodoviário*. Florianópolis, 1999, 204 p. - UFSC, Santa Catarina.

Os problemas relacionados ao tráfego rodoviário, como: congestionamentos, segurança, poluição, atrasos, entre outros, estão crescendo consideravelmente, em diversas regiões do planeta.

Com base na evolução tecnológica, ocorrida nas últimas décadas na área da informática e das comunicações, estão sendo desenvolvidos sistemas automatizados para o gerenciamento e controle das rodovias.

Este trabalho analisa a aplicação dos Sistemas Inteligentes de Transportes, salientando os benefícios potenciais, as pesquisas e testes operacionais em desenvolvimento, os resultados obtidos e as tecnologias inerentes ao gerenciamento e controle do tráfego rodoviário.

A análise qualitativa encerra com a apresentação de prognósticos, recomendações técnicas e sugestões para futuras pesquisas.

**Palavras-chave:** - Sistemas Inteligentes de Transportes  
- Tecnologias de Controle de Tráfego  
- Gerenciamento de Rodovias

## ***ABSTRACT***

PHILIPPI, R. C. N. *The technological evolution of highway control systems.*  
Florianópolis, 1999. 204 p. UFSC, Santa Catarina

Problems related to traffic on the highways, such as congestion, safety, pollution, slow movement, among others, has been increasingly considerably in various regions on the planet.

Based on evolving technology over the last few decades, in the area of information technology and communications, automated systems are being developed for management and control of the roads.

This study analyzes the application of Intelligent Transportation Systems, pointing out the potential benefits, the research and operational tests that are being developed, along with the results obtained and the kinds of technology inherent in the management and control of road traffic.

Finally, a prognosis and some technical recommendations are presented, as well as suggestions for future research.

**Keywords:** - Intelligent Transportation Systems

- Traffic Control Technologies
- Highway Management

## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

## 1. INTRODUÇÃO

Em diversos países, a crescente demanda do tráfego rodoviário e o congestionamento dela resultante vem se tornando um sério problema, aumentando a atenção das autoridades responsáveis pelo sistema rodoviário.

No Brasil, a exemplo do que acontece em vários países, algumas rodovias estão sendo transferidas para o setor privado, através de concessões. Os editais de concorrência prevêm a criação de departamentos que controlem todos os dados sobre o sistema rodoviário em questão, a qualquer momento, em tempo real.

Sistemas informatizados e tecnologias de comunicação, implantadas junto ao complexo rodoviário, apresentam um grande potencial de melhoria da eficiência das operações de tráfego, aumento da segurança nas rodovias, aumento da eficiência energética (com a redução do consumo de combustível) e diminuição dos impactos ambientais.

### 1.1. O PROBLEMA E O TEMA

Durante as duas últimas décadas, surgiram significativos avanços, relativos à tecnologia do controle de tráfego rodoviário, principalmente em consequência do revolucionário progresso nas áreas de microprocessamento e eletrônica. Os desenvolvimentos ocorridos nessas áreas e a divulgação de experiências realizadas têm colaborado sensivelmente no avanço de tecnologia específica e, hoje em dia, aos setores responsáveis pelo controle de tráfego rodoviário é oferecida uma série de alternativas no que se refere a equipamentos, técnicas e *softwares*.

A integração desses elementos com os sistemas informatizados e os de comunicação é conhecida como Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS).

Esses sistemas, quando relacionados ao setor de transporte rodoviário, podem ser divididos da seguinte forma:

- Os sistemas ATM (*Advanced Travel Management*), isto é, Sistemas Avançados de Gerenciamento de Viagens, diretamente voltados aos problemas do tráfego e às informações sobre o trânsito, fornecidas aos usuários do sistema rodoviário;

- Os AVCS (*Advanced Vehicle Control Systems*), ou seja, Sistemas Avançados de Controle de Veículos, destinados a intensificar o controle dos veículos, aumentando-se com isso a segurança do trânsito.

Para a elaboração da pesquisa os dois sistemas acima citados foram subdivididos em:

- Sistemas Avançados de Gerenciamento de Viagens:
  - ⇒ ATMS (*Advanced Traffic Management Systems*), Sistemas Avançados de Gerenciamento de Tráfego;
  - ⇒ ATIS (*Advanced Traveler Information Systems*), Sistemas Avançados de Informações aos Viajantes.
- Sistemas Avançados de Controle de Veículos:
  - ⇒ ACAS (*Advanced Collision Avoidance Systems*), Sistemas Avançados de Prevenção de Colisões;
  - ⇒ AHS (*Automated Highway System*), Sistema Rodoviário Automatizado.

Dessa forma, define-se o problema a ser focado pelo tema "A Evolução Tecnológica dos Sistemas de Controle Rodoviário", resumidamente, discutindo-se as seguintes questões:

1 - Quais etapas devem ser seguidas, por um país que não tenha experiência anterior, ou que esteja no início do processo, para a implementação dos modernos sistemas e tecnologias de controle de tráfego rodoviário?

2 - Quais as condições necessárias para que se tenha viabilidade de implantação dos sistemas de gerenciamento e controle rodoviário?

## 1.2. OBJETIVOS E HIPÓTESES

Este estudo tem como finalidade descrever, analisar e prognosticar acerca da evolução tecnológica dos sistemas de controle de tráfego rodoviário, bem como a operacionalização de diversos deles, os resultados obtidos e os impactos causados com a implantação dos sistemas e os fatores a serem considerados para determinar o sucesso da implantação. A pesquisa tem como objetivo, também, fornecer aos órgãos gestores de rodovias uma publicação atual, com dados técnicos e recomendações, e compor material acadêmico, em Língua Portuguesa, relativo ao assunto em questão, para futuras consultas.

**Tabela 1.1 - Objetivos Específicos e Hipóteses Levantadas**

<b>OBJETIVO ESPECÍFICO</b>	<b>HIPÓTESE</b>	<b>ABORDAGEM (capítulo e seções)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Definir o tema e planejar a pesquisa.</li> </ul>		Capítulo 1: 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5
<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisar a literatura, visando levantar a atual situação dos sistemas de controle rodoviário.</li> </ul>	1-Os problemas relativos ao tráfego rodoviário têm aumentado significativamente nos últimos anos, em diversas regiões do planeta.	Capítulo 2: 2.2, 2.3, 2.4
<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisar a literatura, para a montagem de um quadro referencial dos sistemas inteligentes de controle rodoviário.</li> </ul>	2-Os Sistemas Inteligentes contribuem diretamente no processo da gestão rodoviária.	Capítulo 3: 3.2, 3.3, 3.4, 3.5
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudar as inovações tecnológicas relacionadas ao sistema de transporte rodoviário.</li> </ul>	3-As tecnologias associadas ao controle de tráfego rodoviário estão em contínuo desenvolvimento.	Capítulo 3: 3.6

<b>OBJETIVO ESPECÍFICO</b>	<b>HIPÓTESE</b>	<b>ABORDAGEM (capítulo e seções)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conceituar e descrever o Gerenciamento Avançado de viagens e os Sistemas Avançados de Controle de Veículos.</li> </ul>	<p>4-A implantação dos ITS melhoram o desempenho das rodovias no que se refere à capacidade, à segurança, à produtividade, à qualidade atmosférica e ao consumo de combustível.</p>	<p><b>Capítulo 4:</b> 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6</p> <p><b>Capítulo 5:</b> 5.2, 5.3, 5.4, 5.5</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesquisar as aplicações e analisar os resultados obtidos com a implantação dos ITS.</li> </ul>	<p>5-Existem, em diversos países, aplicações e resultados obtidos com a implantação dos ITS.</p>	<p><b>Capítulo 5:</b> 5.6</p> <p><b>Capítulo 6:</b> 6.1, 6.2, 6.3</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar um diagnóstico para os ITS, em função dos estudos realizados.</li> </ul>	<p>6-Os benefícios proporcionados pelos Sistemas Inteligentes de Transportes compensam os seus custos de implantação.</p>	<p><b>Capítulo 7:</b> 7.7</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliar as condições necessárias para uma bem sucedida implantação dos sistemas de controle de tráfego rodoviário e os impactos resultantes.</li> </ul>	<p>7-O sucesso da implantação dos ITS depende de uma série de fatores e decisões.</p>	<p><b>Capítulo 8:</b> 8.3, 8.4</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fazer um prognóstico para os ITS.</li> </ul>	<p>8-No futuro, os órgãos gestores de rodovias serão caracterizados por centros integrados de gerenciamento do tráfego, assumindo as funções administrativas, de controle, de policiamento, de serviços de emergência e resgate, entre outros.</p>	<p><b>Capítulo 8:</b> 8.2</p>

### 1.3. METODOLOGIA

O processo de revisão bibliográfica, para a execução do trabalho, ocorreu de forma intensa e constante, devido à velocidade dos avanços tecnológicos que caracterizam a área de estudo em questão.

A pesquisa bibliográfica foi realizada com a utilização de recursos como: Bibliotecas, Institutos, Órgãos Rodoviários (DNER, DER), revistas especializadas, jornais, publicações científicas, Dissertações e Teses defendidas e a Internet.

Constatou-se uma grande escassez de material publicado referente ao assunto estudado; dessa forma a base bibliográfica residiu em artigos técnicos solicitados ao exterior via COMUT<sup>1</sup> e material adquirido via Internet.

No desenvolvimento do trabalho foi utilizado o "método hipotético-dedutivo"<sup>2</sup>, o qual tem se mostrado eficiente em estudos nos moldes deste. O citado método segue os passos ordenados:

- define-se o tema a ser pesquisado e os objetivos;
- planeja-se a pesquisa;
- procede-se ao levantamento da situação atual;
- faz-se a análise do contexto atual;
- por fim, elabora-se a dissertação, na qual se apresentam algumas recomendações técnicas e considerações finais, em função dos resultados obtidos e do aprendizado, obtido através da pesquisa e dos estudos realizados.

### 1.4. LIMITES DO TRABALHO

O objetivo principal deste trabalho consiste na análise, em termos mundiais, de tecnologias relacionadas aos sistemas informatizados de controle rodoviário.

No desenvolvimento da pesquisa, constatou-se que existem diversas aplicações, em vários países, de sistemas inteligentes de transporte rodoviário. Contudo, observou-se que a maioria dessas implantações ocorre de maneira isolada, ou seja, não existe um programa consistente, por parte dos gestores rodoviários, que garanta um

---

<sup>1</sup> Programa de Comutação Bibliográfica, Biblioteca Universitária-UFSC.

<sup>2</sup> Weinberg, Achille. Comment faire une research?. Sciences Humaines, Paris, n. 11, novembre 1991. Tradução não publicada do Prof. Dr. Sérgio Granemann.

mecanismo informatizado eficaz e que gere os benefícios econômicos, ambientais e sociais esperados. Este é o caso do Brasil.

Entretanto, em alguns países, existem programas responsáveis pela compatibilização entre os sistemas e os equipamentos utilizados, nos níveis local, nacional e até mesmo internacional.

Como referência, pode-se destacar o caso dos Estados Unidos, que além de programas específicos de implementação de sistemas inteligentes de transporte rodoviário, operam a padronização dos sistemas (instalados no veículo e ao longo da rodovia), dos equipamentos utilizados e dos dados fornecidos pela operação de controle.

Como conseqüência dessa padronização, e também em função do tempo de utilização dos sistemas de controle de tráfego, existe a produção de dados e resultados práticos confiáveis, que serão demonstrados no decorrer deste trabalho.

Outro fator limitante da pesquisa é o avanço do tempo. Como no seu desenvolvimento são exploradas "tecnologias de ponta", constantemente surgem inovações tecnológicas que podem tornar ultrapassado, no todo ou em parte, o objeto de estudo.

Conforme citado anteriormente, em nosso país, porém, a tecnologia específica abordada está apenas no início do seu desenvolvimento e alguns resultados e recomendações, aqui apresentados, podem ser muito úteis no processo de implementação dos sistemas inteligentes de transporte rodoviário.

Espera-se com isso que, por algum tempo, a validade da pesquisa seja mantida e, à medida que os sistemas destacados neste trabalho se tornarem obsoletos, uma pequena parte das inovações fique registrada.

## **1.5. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

No capítulo 2, visando levantar o "problema" que originou esta dissertação, apresentam-se o estado-da-arte e o estado-da-prática dos Sistemas Inteligentes de Transportes. É feita, ainda, uma análise da situação brasileira, apontando-se os principais problemas relacionados ao controle do tráfego das rodovias e as medidas que estão sendo tomadas, em determinadas localidades, para que o sistema rodoviário funcione de forma adequada.

No capítulo 3, têm-se os conceitos e as bases teóricas relacionadas aos Sistemas Inteligentes de Transportes. São distinguidas, também, as diversas tecnologias que dão suporte à implementação dos sistemas estudados.

Nos capítulos 4 e 5, definem-se o Gerenciamento Avançado de Viagens e os Sistemas Avançados de Controle de Veículos, as tecnologias básicas, os benefícios projetados e exemplos de implantação dos sistemas.

No capítulo seguinte, apresentam-se resultados obtidos com a implantação dos Sistemas Inteligentes de Transportes, abordando-se diversas aplicações, pesquisas e testes operacionais (realizados ou em andamento), efetuando-se, assim, a análise da utilização dos ITS.

No capítulo 7, com base na análise feita nos capítulos anteriores, são diagnosticados os Sistemas Avançados de Gerenciamento de Tráfego, os Sistemas Avançados de Informações aos Viajantes, os Sistemas Avançados de Prevenção de Colisões, o Sistema Rodoviário Automatizado e os ITS, como um todo.

Finalmente, no capítulo 8, como conclusão do trabalho, são feitas algumas recomendações técnicas, prognósticos e considerações finais, relativas aos questionamentos e aos objetivos, propostos no capítulo 1.

**CAPÍTULO 2 - OS PROBLEMAS RELACIONADOS AO  
CONTROLE DE TRÁFEGO RODOVIÁRIO**

## **2. OS PROBLEMAS RELACIONADOS AO CONTROLE DE TRÁFEGO RODOVIÁRIO**

### **2.1. INTRODUÇÃO**

Neste capítulo, abordam-se o estado-da-arte e o estado-da-prática em relação aos Sistemas Inteligentes de Transporte Rodoviário em questão, ou seja, os Sistemas Avançados de Gerenciamento de Viagens e os Sistemas Avançados de Controle de Veículos.

O objetivo é fornecer uma idéia global da atual situação dos sistemas, em relação aos estudos, pesquisas e testes operacionais, que formam a base científica de desenvolvimento dos mesmos, como também mostrar as aplicações e os resultados obtidos com a implantação desses sistemas.

Finalmente, apresenta-se a situação brasileira, salientando-se os principais problemas relativos ao tráfego rodoviário e o que está sendo desenvolvido em relação aos sistemas de controle.

### **2.2. ESTADO-DA-ARTE**

Durante a pesquisa bibliográfica foram encontrados artigos relacionados aos Sistemas Inteligentes de Transporte Rodoviário, nas mais variadas fontes, principalmente relatando estudos e pesquisas realizadas no exterior. Serão mencionadas, a seguir, as que foram consideradas de maior relevância.

No item 2.4, aborda-se a situação brasileira, com exemplos de problemas existentes e as providências que estão sendo tomadas na busca de soluções.

(1) - Fenton [14] fornece, primeiramente, uma definição dos IVHS (Intelligent Vehicle Highway Systems), ou seja, Sistemas Inteligentes Via-veículo, como eram conhecidos, na época da publicação (12/94), o que hoje denomina-se como ITS (Intelligent Transportation Systems).

O artigo continua apresentando estimativas baseadas em estudos realizados, nos Estados Unidos, que indicam que para atender à demanda atual, o número de rodovias em território norte-americano no ano de 2010, deverá equivaler ao dobro do existente.

Salienta ainda, a grande dificuldade relacionada à construção de novas rodovias, principalmente no que se refere ao alto custo de construção e a falta de espaço físico para essas obras, sobretudo em áreas já congestionadas.

Na seqüência, são apresentados conceitos mais consistentes sobre tecnologias de controle de tráfego, como os ATMS, ATIS e AVCS e prossegue apresentando um breve histórico dessas tecnologias.

O artigo é concluído com uma apresentação detalhada dos AHS (Automated Highway Systems), que envolve o seu funcionamento, as técnicas, as variáveis e os benefícios projetados.

(2) - White [114] também apresenta os conceitos dos ATMS, ATIS e AVCS, agora como subdivisões de um sistema principal que os engloba, os ITS.

Descreve o que está sendo realizado na área estudada, em busca da consolidação e estruturação da tecnologia dos sistemas rodoviários inteligentes.

As atividades envolvidas com esse objetivo, incluem o desenvolvimento de uma arquitetura padrão para os ITS, capaz de identificar os complexos componentes que estão relacionados aos sistemas, e como esses componentes interagem, visando desempenhar satisfatoriamente suas funções.

(3) - Uma das primeiras fontes consultadas foi Bonsall [6], onde uma série de conceitos, tecnologias e equipamentos, diretamente relacionados ao objeto de estudo, são apresentados.

Pode-se destacar:

- A tecnologia e os equipamentos (sensores, detectores etc.) relativos à detecção e à classificação automática de veículos;

- A tecnologia da identificação automática de veículos (AVI), equipamentos e aplicações;
- A tecnologia de processamento de imagens com funções de gerenciamento do tráfego;
- A integração entre os sistemas componentes do gerenciamento de tráfego.

(4) - No artigo *Intelligent Highways* [67], Hudson enfatiza os problemas rodoviários norte-americanos: "O número de veículos (rodoviários) aumenta na ordem de 20 a 30 por cento ao ano, de acordo com o *General Accounting Office* (GAO). Esse fato, resulta em gastos aproximados de US\$ 100 bilhões anuais aos cofres da nação, devido aos congestionamentos e aos atrasos ocorridos no tráfego. Os gastos com acidentes de tráfego estão avaliados em cerca de US\$ 70 bilhões por ano."

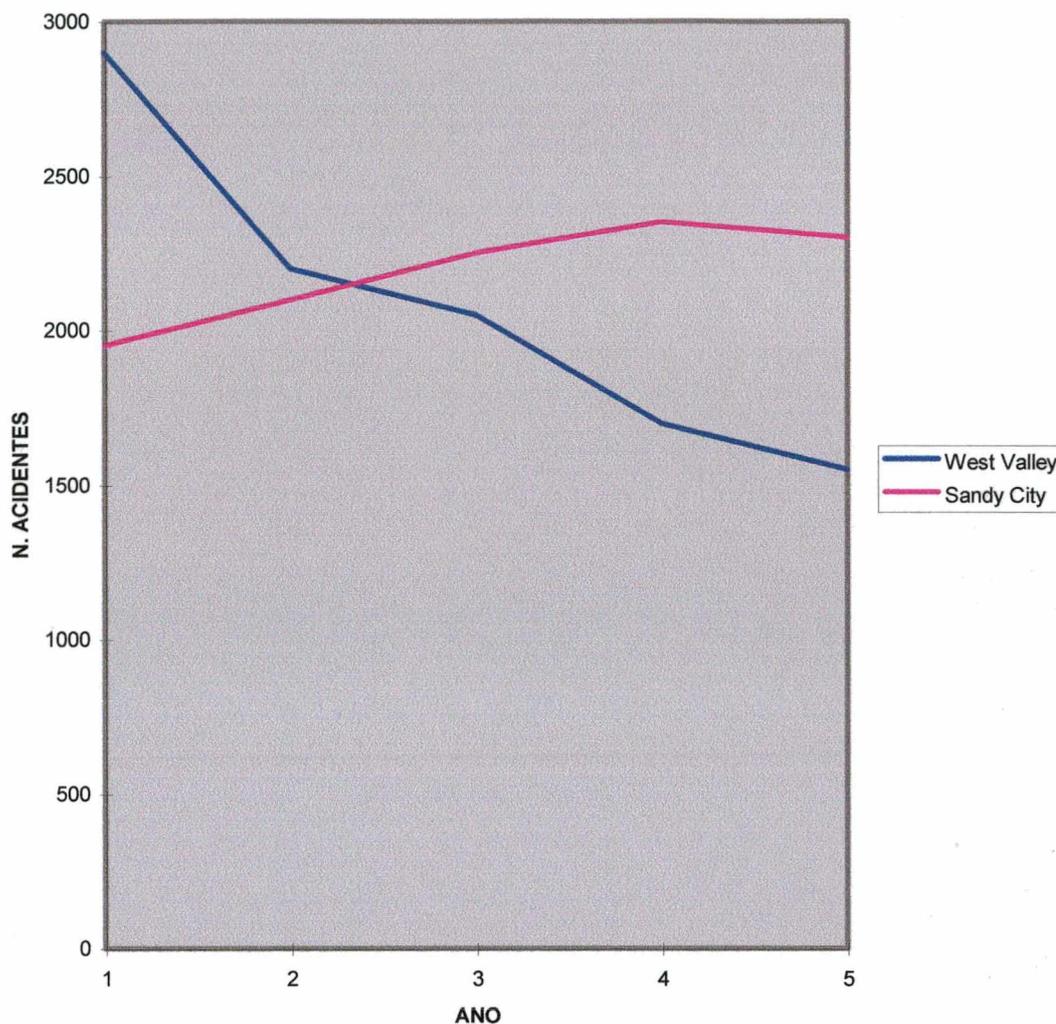
O autor aborda ainda, o fato de os congestionamentos causarem, anualmente, desperdícios de 2 bilhões de galões de combustível e, com isso, provocarem sérios problemas atmosféricos, pelas emissões de óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e monóxido de carbono.

Como consequência, leis relacionadas com a qualidade do ar começaram a ser criadas, culminando com o *Intermodal Surface Transportation Efficiency Act* (ISTEA), considerado a "fração" legislativa do *Highway Research Program* (SHRP), criado em 1987, com o objetivo de aprimorar o desempenho e a durabilidade das rodovias norte-americanas.

O ISTEA estimulou a realização de estudos em grande escala, fato que concretizou a idéia do desenvolvimento de novas tecnologias e sistemas, interligados com o controle do tráfego rodoviário e o potencial dos mesmos em fornecer soluções aos problemas anteriormente relatados, o que propiciou o surgimento dos ITS.

O artigo também descreve uma série de aplicações e resultados iniciais, obtidos com a implantação dos ITS. Como exemplo, tem-se registrado no gráfico 2.1, a diminuição do número de acidentes em rodovias de duas cidades situadas no estado de Utah, EUA, respectivamente West Valley e Sandy City, apenas com a implantação de câmeras fotográficas, responsáveis pela captação de imagens da licença de veículos que trafegavam velocidades acima da permitida.

**Gráfico 2.1 - Redução do número de acidentes com a instalação de controladores de velocidade**



Fonte: American Traffic Systems, Scottsdale, Ariz.

**Nota:** O município de West Valley implantou o sistema no ano "1" (1990), e Sandy City no ano "5" (1994).

(5) - Em [62] tem-se uma descrição do *Research and Technology Program*. Programa implementado pela FHWA (Federal Highway Administration - 1996-2000), tendo como objetivo principal identificar os problemas relativos aos transportes rodoviários, realizar pesquisas, proceder testes operacionais e desenvolver produtos (*softwares*, técnicas, modelos, equipamentos etc.), inerentes aos ITS.

(6) - Na publicação *ITS Core Infrastructure* [36], tem-se novos conceitos, relacionados às infra-estruturas fornecedoras de suporte ao Gerenciamento Avançado de Viagens (ATM), que estão assim discriminadas:

- Sistema Multimodal de Informações aos Viajantes (MTIS);
- Sistema de Controle de Semáforos (SIGNALS);
- Sistema de Gerenciamento de Rodovias (FMS);
- Sistema de Gerenciamento de Trânsito (TMS);
- Sistema de Cobrança Eletrônica de Pedágio (ETC);
- Programas de Gerenciamento de Incidentes (IM).

Essas tecnologias serão detalhadas no capítulo 3.

(7) - Em *Electronic Toll Collection Systems* [94], Pietrzyk descreve os sistemas eletrônicos de cobrança de pedágio.

O artigo inicia relacionando as tecnologias existentes, determinando suas principais características e diferenciais.

Prossegue destacando a precisão e a confiabilidade, das técnicas e sistemas comercialmente disponíveis e aponta os benefícios alcançados pelo setor rodoviário (aumento da capacidade viária, redução dos congestionamentos, melhoria da qualidade do ar, aumento da eficiência energética, entre outros), com a implantação dos sistemas eletrônicos de cobrança de pedágio.

O autor conclui, abordando aspectos operacionais relacionados com os sistemas eletrônicos de cobrança e salientando seu baixo custo de implantação, se comparado ao custo de construção de novas praças de pedágio.

(8) - Em [33] é detalhadamente descrita a tecnologia dos Sistemas Rodoviários Automatizados (AHS).

São fornecidas informações sobre o funcionamento do sistema, as características da rodovia automatizada, os veículos especialmente adaptados e os benefícios projetados com a implantação dos AHS.

Como parte final, apresenta-se o teste de viabilidade técnica (Demo '97), que será enfocado no capítulo 5.

(9) - O trabalho “Os painéis de mensagem variável como fonte de informações das condições de tráfego: uma metodologia de suporte ao operador” [119], analisa o método atualmente utilizado para prover informações sobre as condições do tráfego nos painéis de mensagem variável do RJ. Esse método consiste em analisar as condições de tráfego e classificá-las em conceitos qualitativos que variam de bom a congestionamento. A partir de relações estabelecidas entre estes conceitos e os dados de tráfego coletados (fluxo e tempo de ocupação), uma metodologia de apoio à referida análise foi então desenvolvida. O estudo busca viabilizar a concepção de uma interface que auxilie o operador a manter as mensagens dos painéis atualizados.

(10) - No trabalho “Contribuição à aplicação dos sistemas inteligentes de transportes no gerenciamento de estacionamentos na cidade do Rio de Janeiro” [120] é verificado o potencial de aplicação dos Sistemas Inteligentes de Transportes para melhorar os aspectos relativos à eficiência, segurança e meio ambiente em áreas urbanas, através de uma proposta de aplicação de um sistema de informações para estacionamento subterrâneo em seis locais do bairro de Copacabana. O sistema pretende compartilhar informações sobre todas áreas de estacionamento e informar aos motorista ao longo das principais vias, durante a viagem, a disponibilidade de vagas, otimização do uso e direcionando sua ocupação. O desenvolvimento deste sistema pretende contribuir para reduzir o tempo de procura por vaga, enquanto direciona a escolha da melhor rota. Medidas associadas de monitoração e controle de tráfego e a utilização de painéis de mensagem variável, permitirá o fornecimento da informação em tempo real aos gerenciadores de tráfego.

(11) - Em [118] o autor estuda os subsídios para a avaliação de Sistemas Inteligentes aplicados ao transporte. Verifica, ainda, as possibilidades de sua implementação no país, destacando-se o modelo comportamental do motorista segundo dois enfoques diferentes: o de segurança e o ergonômico.

### 2.3. ESTADO-DA-PRÁTICA

(1) - Na publicação *Intelligent Transportation Infrastructure Benefits: Expected and Experienced* [89], tem-se a apresentação de resultados obtidos com a aplicação dos sistemas que compõem a Infra-estrutura Inteligente de Transportes.

Destaca-se o comportamento de uma série de variáveis, como:

- tempo de viagem;
- velocidades de deslocamento;
- capacidade das rodovias;
- taxa de acidentes;
- consumo de combustível;
- emissões atmosféricas;
- atrasos nas viagens;
- número de acidentes fatais.

O autor ressalta o fato de os resultados apresentados significarem uma amostra dos benefícios que podem provir dos sistemas, uma vez que, devido ao pouco tempo de implantação e à falta de integração existente entre as jurisdições, dados mais confiáveis ainda não estão totalmente à disposição, para que seja feita uma análise mais criteriosa.

(2) - Em [96], Ray apresenta alguns estudos de caso de aplicações dos ITS em países classificados como detentores de economias "emergentes" ou em fase de transição, como por exemplo: Brasil, China, Hungria, Índia, Indonésia, Coréia, Malásia, Romênia e Tailândia.

Para cada país estudado, foram feitas as seguintes análises (em relação ao sistema de transportes):

- Principais características dos sistemas de transportes;
- Temas rodoviários em questão (problemática);
- Organizações envolvidas (governamentais, institucionais, acadêmicas, industriais etc.)
- Prioridades, relativas à implantação dos ITS.

Finalmente, os países pesquisados são classificados, em relação ao seu nível de implementação dos ITS, em três categorias:

- Com tecnologia implantada;
- Com tecnologia em desenvolvimento;
- Com tecnologia em fase de planejamento.

(3) - Em [41] tem-se um compêndio de estudos de caso. Destacam-se estudos realizados em 8 países da Ásia, Europa e América do Norte (totalizando 14 casos), que estão na fase inicial do processo de implantação dos Sistemas Inteligentes de Transporte.

Em função dos resultados obtidos (até a data da publicação do artigo), para cada tecnologia específica relativa aos ITS, são fornecidas algumas considerações, para que a implantação planejada obtenha completo êxito e, com isso, atinja os objetivos esperados.

(4) - Na publicação *Key Findings from the Intelligent Transportation Systems Program* [38], o autor apresenta um diagnóstico dos Sistemas Inteligentes de Transporte, respondendo perguntas do tipo "o que se tem aprendido?", ou ainda, "o que pode ser feito, para a melhoria dos sistemas?".

São repassadas algumas considerações, baseadas em resultados obtidos com extensivas pesquisas, testes operacionais e estudos de aplicações dos ITS, em diversas localidades, e dados fornecidos pelo USDOT e por responsáveis pelo programa de desenvolvimento dos ITS, nos Estados Unidos.

(5) - O artigo *Detection technology for ITS* [79] reporta o desenvolvimento de projetos que objetivam determinar os parâmetros do tráfego e a precisão requerida para o processo da detecção de veículos, em um sistema inteligente de controle de tráfego.

As aplicações incluem controle de intersecções, controle adaptável (em tempo real) de semáforo, detecção de incidentes e coletas de dados relativos ao tráfego.

O autor menciona diversas tecnologias de detecção de veículos, como: radares infravermelhos, radares ultrassônicos, radares microondas e vídeo-processamento de imagens.

Conclui descrevendo os métodos utilizados para a avaliação das tecnologias de detecção de veículos, aplicadas em testes de campo.

(6) - Em [103], *Applications of advanced traffic control technology*, tem-se uma revisão dos principais objetivos e funções dos ITS.

Aplicações relacionadas com o gerenciamento avançado do tráfego são descritas, com ênfase aos projetos em execução e/ou de curto prazo, existentes na Austrália.

Esses projetos envolvem a detecção de incidentes do trânsito, o gerenciamento de viagens, o processamento de imagens (visando o controle do tráfego) e a coleta eletrônica de pedágio.

Finalmente, abordam-se alguns aspectos técnicos e sociais, envolvidos com a evolução dos ITS e são apresentadas considerações sobre a privacidade e as responsabilidades do usuário do sistema de transporte rodoviário.

## 2.4. A SITUAÇÃO BRASILEIRA

Como já se mencionou, não existe no Brasil um programa consistente de implantação dos Sistemas Inteligentes de Transporte Rodoviário.

As soluções, relativas aos problemas de tráfego, são tomadas individualmente, não existindo uma integração entre os órgãos rodoviários estaduais e demais jurisdições.

Por esta razão, a seguir apresentam-se alguns artigos que salientam os problemas existentes, e outros que destacam a utilização de tecnologias voltadas ao controle do tráfego rodoviário, de forma genérica.

### (1) - Paulistano perde R\$ 350 milhões no trânsito [92]

O artigo explora o estudo realizado pelo Ipea (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), em convênio com o Banco Mundial, em dez cidades brasileiras, feito com o objetivo de analisar o impacto dos congestionamentos na economia urbana. Foram considerados os custos da poluição, dos ônibus em excesso e do desperdício de tempo, de combustível, de dinheiro e de vida dos passageiros e motoristas.

De acordo com o estudo, os congestionamentos em São Paulo geram um desperdício de R\$ 350 milhões por ano. Presos nos engarrafamentos, os paulistanos perdem 200 milhões de horas e desperdiçam quase o mesmo número em litros de gasolina, enquanto a velocidade média ponderada dos automóveis no pico da tarde é de apenas 17 km/h, mostrando a saturação do sistema.

"A situação em São Paulo é tão crítica quanto a de Tóquio (Japão) ou de Jacarta (Indonésia)", afirmou Iêda Maria de Oliveira Lima, coordenadora do estudo.

Um outro estudo do Ipea em algumas empresas da região metropolitana de São Paulo mostrou que há uma perda de 14% a 20% da capacidade produtiva quando o empregado gasta de 40 a 80 minutos nos congestionamentos.

**Tabela 2.1 - Os problemas causados pelos congestionamentos**

Cidades pesquisadas	Velocidade média no horário de pico à tarde (km/h)	Tempo gasto nos engarrafamentos (horas/ano)	Excesso de consumo de combustível (litros/ano)	Quanto se desperdiça de dinheiro (milhões de reais/ano)
São Paulo	17	198,4 milhões	198,5 milhões	346,096
Belo Horizonte	23	6,063 milhões	5,567 milhões	22,573
Brasília	44	498,8 mil	568 mil	8,067
Campinas	23	3,507 milhões	4,097 milhões	7,832
Curitiba	22	2,819 milhões	2,502 milhões	3,919
João Pessoa	27	772,4 mil	603,7 mil	2,753
Juiz de Fora	31	178,1 mil	144,2 mil	0,713
Porto Alegre	28	2,997 milhões	2,565 milhões	5,101
Recife	24	1,791 milhões	1,360 milhões	4,346
Rio de Janeiro	26	33,033 milhões	35,849 milhões	72,704
<b>Total</b>	-	<b>250,094 milhões</b>	<b>251,788 milhões</b>	<b>474,108</b>

Fonte: Ipea (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - 1998)

## **(2) - Congestionamento de 70 km isola turista [77]**

Este artigo (16/11/96) indica como os congestionamentos, há algum tempo, vêm sendo um grande problema.

O exemplo citado engloba o sistema rodoviário "Anchieta-Imigrantes", no estado de São Paulo, que registrava, na data anterior à da publicação da matéria, um congestionamento de 70 km de extensão. Os viajantes levaram até 8 horas para um deslocamento que, em condições normais, seria feito em 50 minutos.

## **(3) - Manhã tem record de lentidão em SP [75]**

Em [72] tem-se outra demonstração da situação dos problemas de tráfego de São Paulo em situações desfavoráveis (no caso, a forte chuva que atingiu a cidade, durante a madrugada anterior à da publicação do artigo).

Às 8h30, quando a lentidão atingiu sua extensão máxima, as filas de carros ocupavam 134 quilômetros de ruas e avenidas da cidade.

## **(4) - De Biafra à Suíça nas estradas brasileiras [98]**

Este é um exemplo da já citada disparidade existente e da falta de integração dos órgãos gestores das rodovias brasileiras.

O texto menciona a liberação de uma verba de U\$ 45,4 milhões, por parte do governo federal, para ser aplicada em um programa emergencial de recuperação de 14,9 mil quilômetros da malha federal (à época da reportagem, somente a via Dutra consumia, anualmente, mais de U\$ 80 milhões em sua manutenção).

É comentado também o processo de privatização das rodovias paulistas, onde é apontada a implantação de Centros de Controle Operacional, equipados com rede de comunicações para acionar prontamente os serviços exigidos, dando atendimento a um volume superior a três milhões de chamadas em 18 anos de existência do sistema.

### **(5) - Rodovia automatizada [100]**

Enfoca o projeto da Concer (Companhia de Concessão Rodoviária Juiz de Fora), empresa que assumiu a manutenção e conservação da rodovia durante 25 anos. O processo de automatização prevê a instalação de equipamentos para controle operacional, estações meteorológicas e sistemas de pesagem e controle de tráfego.

### **(6) - Eletrônica em ação [102]**

"De repente, algumas das principais vias de acesso ao Rio - a ponte Rio-Niterói e a Rodovia Presidente Dutra - e uma que pretende aliviar o pesado e lerdo tráfego da cidade em direção à Barra da Tijuca - a Linha Amarela - resolvem implantar sistemas mais modernos de comunicação eletrônica, que devem melhorar a fluidez do tráfego e oferecer aos motoristas um serviço de melhor qualidade".

A implantação destes sistemas deve-se, em boa parte, às exigências do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), que permitiu a exploração particular das rodovias e condicionou a concessão à instalação de sofisticados equipamentos, visando à segurança dos usuários.

### **(7) - Espião do bem [84]**

Sistemas eletrônicos de controle de tráfego estão sendo instalados em várias cidades brasileiras e, com isso, diminuindo o número de mortes no trânsito.

"Esses avanços chegam em boa hora, mas estamos ainda engatinhando em matéria de tecnologia de tráfego", afirmou Roberto Scaringella, diretor do Instituto Nacional de Segurança no Trânsito. Nos Estados Unidos, no Japão e em alguns países da Europa, já existe o conceito de "estradas inteligentes", rodovias capazes de adequar automaticamente seus limites de velocidade segundo as condições da pista. As antigas placas foram trocadas por painéis de mensagens, com mostradores digitais, que limitam a velocidade em situações perigosas, ou de chuva, e permitem a velocidade máxima, quando a rodovia está "limpa".

**(8) - Máquinas fiscalizam o trânsito por todo o país [74]**

Especialistas em transporte afirmam que o uso do controle eletrônico tende a se intensificar nas grandes capitais do país.

"Em uma cidade do tamanho de São Paulo nunca haverá policiais em número suficiente para fiscalizar os motoristas", disse o consultor em transporte Jaime Waisman, que defende a utilização de sistemas eletrônicos de controle de tráfego.

Segundo ele, em cidades dos Estados Unidos a utilização contínua desses equipamentos por vários anos, reduziu o número de infrações - responsáveis por grande parte dos acidentes - em cerca de 50%.

(9) - Em [73], tem-se a informação da implantação, por parte do DER-SP, de radares fotográficos, detetores eletrônicos de velocidade, câmeras de TV e centrais de operação, em rodovias do estado de São Paulo.

**(10) - Estado incentiva criação de superestradas [83]**

O governo de São Paulo concedeu a exploração de 3.000 km de estradas à iniciativa privada, para que sejam criadas as "rodovias do futuro".

As novas rodovias deverão ter pedágio eletrônico, cabos de fibra-ótica (que indicam a velocidade dos veículos e o peso da carga de caminhões), e "olhos de gato" (mostradores que informam a distância entre veículos e também indicam níveis de neblina).

A tecnologia a ser utilizada, na cobrança de pedágio, baseia-se no uso de cartões magnéticos. Esta tecnologia também será usada para outras informações como, por exemplo, se um veículo for roubado, o proprietário comunica à Dersa, que informa ao sistema as características do mesmo, que pode ser reconhecido ao passar por um *box* de pedágio. A leitura eletrônica pode dizer ainda se o carro foi licenciado e se os impostos foram pagos.

**(11) - Radar causa queda de 44% em acidentes [76]**

O número de acidentes de trânsito com vítimas fatais no Distrito Federal teve uma redução de 44% em outubro e novembro de 1996, em relação ao mesmo período de 1995.

Para o diretor-geral do Detran, Luís Riogi Miura, a queda registrada nos meses de outubro e novembro poderia ser considerada "quase um milagre" e não tinha precedentes em todo o país.

O principal responsável pela queda dos acidentes fatais foi a instalação de radares eletrônicos colocados em postes, que controlam a velocidade dos veículos.

"O Detran faz campanha para reduzir os acidentes desde julho de 95. Mas as reduções eram quase insignificantes. Só conseguimos diminuir para valer o número de colisões e atropelamentos depois da colocação de radares", afirmou Miura.

**(12) - Sistema reduz até 18% do tráfego no Rio [90]**

O sistema de modernização dos sinais de trânsito implantado pela prefeitura do Rio de Janeiro em 1996 reduziu em até 18% o tempo médio dos deslocamentos na área atendida. O cálculo é da CET-Rio (Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio), responsável pela gerência do sistema, chamado CTA (Controle de Tráfego por Área), formado por três subsistemas complementares e independentes.

O primeiro, computadorizado, é o semafórico, que permite à CET-Rio identificar cruzamentos com sinais deficientes que, por isso, comprometam a fluidez do trânsito. Existiam na cidade, à época da pesquisa, 900 sinais controlados por computador.

O segundo subsistema é formado por 40 câmeras que, localizadas nos principais cruzamentos, possibilitam a identificação de fatos que atrapalhem o fluxo de veículos.

O sistema é completado por painéis eletrônicos que começaram a ser colocados em pontos vitais à circulação dos veículos.

O CTA inclui também um conjunto de detectores veiculares. São equipamentos que registram o número de carros que transitam por determinada via e o tempo de passagem de cada um.

"No caso dos detectores, a maior utilidade é gerar dados estatísticos que permitam avaliar a necessidade de alterações no tempo dos sinais da área", explicou José Carlos Tigre, gerente do CTA.

Diversas referências abordam o processo de implantação dos sistemas eletrônicos de cobrança de pedágio no Brasil. Serão destacadas a seguir algumas, consideradas principais:

### **(13) - SP pretende baixar gasto de R\$ 20 milhões com pedágio [71]**

Esta matéria, de novembro de 1995, salientava os gastos para a manutenção de 12 pedágios, em rodovias administradas pelo DER, no estado de São Paulo.

O então superintendente do DER determinou uma "revisão de valores" e decidiu rescindir os contratos existentes e lançar editais para nova concorrência pública.

Com as novas licitações, o DER estimava baixar os gastos com pedágio de R\$ 20 milhões anuais para R\$ 8,1 milhões, em 12 meses.

A redução de gastos da ordem de R\$ 12 milhões permitiria ao DER construir mais de 160 km de estradas vicinais, de uma pista com duas faixas, por ano.

Os editais exigiam, dos novos concessionários dos pedágios, o investimento em equipamentos eletrônicos modernos, capazes de evitar a ocorrência de fraudes e de eliminar a mão-de-obra ociosa nas praças de pedágio.

### **(14) - Ganhando tempo no caminho [101]**

Quando da sua implantação, em agosto de 1996, o sistema de cobrança eletrônica de pedágio da Ponte Rio-Niterói era utilizado por 40 mil usuários, e a praça de pedágio, equipada com o sistema AVI (Automatic Vehicle Identification), apresentava sensíveis melhorias no que se refere a sua operacionalidade.

Os veículos eram rastreados por etiquetas de identificação por radiofrequência (TAGs), em questão de segundos, evitando a formação de filas nos trechos de pedágio.

O texto enfoca, ainda, a falta de padronização existente no Brasil. Na época, a Ponte Rio-Niterói utilizava sistemas de frequência de 904 Mhz, enquanto os responsáveis pela "Nova Dutra" projetavam a implantação de sistemas de 5.8 GHz.

### **(15) - Pedágio eletrônico é testado em São Paulo [74]**

A referência faz menção aos testes realizados pelo DER-SP, em duas cabines no km 23 da Rodovia Castelo Branco, com a implantação de pedagiamento eletrônico.

Duas empresas de ônibus rodoviários - Viação Cometa e Manoel Rodrigues - além da transportadora de cargas Falcão, estavam experimentando o sistema de telepedágio norte-americano, denominado Tiris, da Texas Instruments, cujo representante no Brasil é a empresa Tesc Indústria e Comércio.

Em cada veículo foi instalado um *transponder* e na lateral da pista de cobrança automática, uma antena transmissora e receptora de sinais de radiofrequência.

"Essa antena, que também pode ser embutida no pavimento, recebe sinais do *transponder* a uma distância de dois a três metros. Uma unidade leitora indica o veículo através desses sinais e transmite seus dados (placa, tipo, número de eixos, nome da empresa etc.) a uma unidade na cabine de pedágio, composta por microcomputador e impressora. Após a conferência das informações, feita em segundos, o veículo é liberado automaticamente, podendo desenvolver uma velocidade de até 40 km/h para ser registrado pelo AVI. O sistema emite ainda comprovante, com data e hora da passagem do veículo".

Uma das funções dos testes seria avaliar a melhor forma de cobrança do pedágio (débito automático na conta bancária, cartão de crédito ou pagamento antecipado; com *transponders* carregados com um determinado número de viagens.)

"São inúmeras as vantagens dessa tecnologia. A principal é o fim das filas nas praças de pedágio, agilizando a passagem dos veículos e aumentando a fluidez do tráfego".

Ainda sobre os testes operacionais, em [68] temos a declaração de Valter de Andrade, gerente de frota da transportadora Falcão: "*Acho que o projeto tem funcionado bem. No sistema comum, o motorista traz recibos. Nunca dá pra saber se ele passou realmente no pedágio*".

A maior preocupação dos técnicos era em relação à implantação de um sistema que pudesse ser usado tanto nas rodovias sob jurisdição do DER como do Dersa - Desenvolvimento Rodoviário S/A e do DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

#### **(16) - Pedágio na cidade [97]**

Esse artigo apresentava outro exemplo de aplicação do pedágio eletrônico. Consistia no estudo realizado pela Secretaria de Meio Ambiente, da Prefeitura Municipal de São Paulo, com a utilização da cobrança eletrônica de pedágio para carros que necessitassem trafegar em áreas de trânsito saturado (ou mesmo congestionado).

A implantação do projeto, contudo, dependia de regulamentação, embora o governo municipal garantisse estar respaldado no novo Código Nacional de Trânsito.

#### **(17) - Começam testes de pedágio eletrônico [79]**

O DER deu início aos primeiros testes para implantação do pedágio eletrônico nas rodovias paulistas, testes esses foram feitos no pedágio do km 9 da rodovia Professor João Hipólito Martins (SP-209).

O DER previa, ainda, o início da operação comercial do pedágio eletrônico na rodovia Marechal Rondon, principal ligação entre São Paulo e Mato Grosso do Sul, para o final de 1998.

As cabines eletrônicas funcionarão com *transponders* e o valor do pedágio será cobrado através de débito automático.

**CAPÍTULO 3 - OS SISTEMAS INTELIGENTES E A  
GESTÃO RODOVIÁRIA**

### 3. OS SISTEMAS INTELIGENTES E A GESTÃO RODOVIÁRIA

#### 3.1. INTODUÇÃO

Este capítulo enfoca as proposições teóricas e questões relacionadas com os Sistemas Inteligentes de Transportes.

São apresentados conceitos relativos às áreas interrelacionadas do assunto, um breve histórico dos sistemas e as tecnologias pertinentes, que compõem os Sistemas Inteligentes de Transportes.

#### 3.2. CONCEITO

Novas tecnologias nos campos da eletrônica, computação e comunicações estão recentemente sendo aplicadas aos sistemas de transportes, com o intuito de aperfeiçoar a eficiência, reduzir os custos, minorar os impactos ambientais negativos e melhorar a segurança rodoviária.

Os Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) podem ser definidos, de maneira geral, como sistemas que aplicam tecnologias de informação e controle, para auxiliar as operações do transporte rodoviário. Vários desses sistemas têm sido implementados há algum tempo, enquanto outros estão apenas no início do seu processo de implantação, ou ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, para futuras aplicações.

Sistemas de controle de semáforo adaptável, como SCOOT e SCATS, que utilizam informações do fluxo do tráfego para coordenar os tempos dos sinais de uma determinada área, e o controle de cruzeiro inteligente, que, automaticamente, reduz a velocidade, mantendo seguro "*headway* de espaço" entre veículos, são exemplos de sistemas inteligentes de transporte rodoviário, que estão no auge do seu desenvolvimento e começando a ser implantados. Sistema de avisos dinâmicos (que aconselham os motoristas sobre as melhores rotas, em relação ao seu destino, e que levam em conta a atual e previsível condição do tráfego) pode ser apontado como um exemplo de ITS, já

testado, mas que deve levar algum tempo para ser implantado em grande escala, devido à complexidade que envolve a coleta de informações e as comunicações.

Visto isso, o conceito de Sistemas Inteligentes de Transporte pode ser apresentado como a aplicação de tecnologias computacionais, de controle e de comunicação, que apóiam a tomada de decisões, por parte dos motoristas e operadores, dando suporte, também, ao desenvolvimento de veículos e redes rodoviárias "inteligentes". Embora breve, este conceito denota a importância do fator humano, indicando que os ITS não significam um sinônimo de automação completa do sistema rodoviário; no entanto, o estudo de sistemas rodoviários completamente automatizados está em andamento e essa tecnologia pode ser utilizada em um futuro não muito distante.

### 3.3. HISTÓRICO [14]

Há 60 anos, em Nova Iorque, a General Motors apresentou, na Amostra Mundial de 1939, o que seria a primeira visão ou idéia de uma rodovia automatizada, o "Futurama". Representava uma rodovia com a superfície curvada, com o objetivo de manter o veículo em sua própria pista, enquanto este era automaticamente controlado por rádio, mantendo uma distância mínima dos demais veículos.

Desde esse primeiro e visionário passo, pesquisadores do mundo inteiro buscam maneiras de melhorar a segurança e a eficiência das rodovias, desenvolvendo sistemas inteligentes de transportes, fato que pode ser considerado, formalmente, como o primeiro impulso para o desenvolvimento dos IVHS; no entanto, o desenvolvimento de pesquisas devidamente embasadas, relacionadas com o assunto, tiveram seu início nos anos 60.

Essa iniciativa pode ser creditada ao Bureau of Public Roads (BPR, predecessor da Federal Highway Administration, FHWA) e baseava-se na premissa de que os avançados conceitos de comunicação e de controle poderiam ser efetivamente aplicados ao complexo via-veículo. A principal atividade do BPR estava voltada ao desenvolvimento de projetos relativos aos Sistemas de Controle de Tráfego Urbano (UTCS), precursor do que hoje chamamos de Sistemas Avançados de Gerenciamento do Tráfego (ATMS). Os UTCS envolviam a conexão de intersecções semaforizadas individuais a um controle central, o qual era capaz de selecionar a seqüência de tempos mais apropriada para cada semáforo. Essa seqüência poderia ser atualizada de acordo

com mudanças das condições de tráfego e, neste sentido, o UTCS configurava-se como sistema de controle adaptável.

Outros esforços relacionados com o desenvolvimento de sistemas para o controle do tráfego foram feitos durante a década de 70. O mais conhecido dos programas do BPR foi o Sistema Eletrônico de Roteamento (ERGS). O motorista dispunha de informações sobre uma determinada rota e as condições do tráfego, em tempo real, através de uma unidade a bordo do veículo. O sistema General Motors Driver Aid, Information and Routing (DAIR), foi também desenvolvido com os mesmos objetivos, e ambos podem ser considerados antecedentes dos ATIS (Advanced Traveller Information Systems).

O ERGS foi abandonado pelo Congresso americano em 1971 e o desenvolvimento do DAIR foi encerrado depois que o conceito de comunicação veicular unificada foi demonstrado. Foram desenvolvidos também projetos primitivos relacionados com o transporte interurbano. Entre eles destaca-se o PAS (Passing Aid System) e o FLASH, um sistema de radio-informações ao motorista situado à margem da rodovia, possibilitando a comunicação com uma central de controle.

A iniciativa de maior alcance do BPR foi o programa do Sistema de Rodovias Automatizadas (AHS-Automated Highway Systems). O programa envolvia estudos e análises de sistemas rodoviários automatizados desenvolvidos inicialmente por CALSPAN<sup>1</sup> e General Motors Corporation<sup>2</sup> e estudos voltados ao controle de veículos e controle da rede viária feitos pela OSU (Ohio State University)<sup>3</sup>.

Durante os anos em que o programa AHS esteve sob a responsabilidade do BPR, outros esforços se voltaram para o desenvolvimento do transporte terrestre automatizado. Pode-se destacar, entre outros, o estudo "Glideway"<sup>4</sup> do Massachusetts Institute of Technology. Um dos resultados desse estudo foi o atual sistema de trânsito automatizado de Morgantown, West Virginia.

---

<sup>1</sup> "Practicality of Automated Highway Systems ", CALSPAN Corp., Buffalo, New York, Final Report, DOT-FH, November 1977.

<sup>2</sup> J.G. Benner, "An Overview of Systems States of Automated Highway Systems", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-40, n° 1, February 1991, pp 82-99.

<sup>3</sup> R. E. Fenton and R. J. Mayhan, "Automated Highway Studies at The Ohio State University - An Overview", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-40, n° 1, February 1991, pp 100-113.

<sup>4</sup> "The Glydeway System - A High Speed Ground Transportation System in the Northeast Corridor of the United States", The M.I.T. Press, Cambridge Massachussets, 1965.

Em 1981, as atividades do BPR (atual FHWA), voltadas aos sistemas de tráfego, foram severamente diminuídas com o advento da administração Reagan. Na metade da década de 80, foram feitas tentativas no sentido da reimplantação de alguns programas, todas sem sucesso. Programas isolados do tipo IVHS, similares aos já mencionados, também foram desenvolvidos de meados dos anos 60 em diante, em diversos países <sup>5,6,7,8</sup>.

Na década de 80, o congestionamento do tráfego tornou-se um dos mais sérios assuntos de interesse mundial. Ao mesmo tempo, avanços tecnológicos aplicáveis ao tráfego e iniciativas voltadas ao conceito de transporte avançado acompanharam o crescimento das questões problemáticas relativas ao tráfego. Os departamentos de transportes de países europeus e do Japão seguiram esse desenvolvimento.

Em 1988 foi formado o "Mobility 2000", por um grupo de especialistas em transportes, os quais ficaram encarregados da tarefa de efetuar pesquisas tecnológicas e do desenvolvimento de programas específicos. Suas conclusões foram apresentadas em 1990<sup>9</sup>, e esse trabalho tornou-se a principal base do programa "IVHS America".

Subseqüentemente, em 1990, o Departamento de Transportes norte-americano (USDOT) estabeleceu o programa IVHS formal e reconheceu o IVHS America como Comitê Federal Consultivo. Em 1991, o Congresso norte-americano aprovou o ISTEA (Intermodal Surface Transportation Efficiency Act), tendo parte do ato constituído em função do programa IVHS 1991. Depois disso, assegurou uma substancial verba federal para as atividades do IVHS.

Desde então, a verba necessária ao desenvolvimento dos Sistemas se origina de uma série de entidades - diversas indústrias, governos estaduais e municipais, academias e organizações independentes. Além disso, a legislação assegurou uma maior cooperação entre entidades envolvidas com projetos. Um exemplo de participação típica

---

<sup>5</sup> C. G. Giles and J. A. Martin, "Cable Installation for Vehicle Guidance Investigations in The New Research Track at Crowthorne", Road Research Lab., Crwthorne, England, Rep. RN/4057/CGG, 1961.

<sup>6</sup> R. Oshima, et al, (Japan Government Mechanical Laboratory), Control System for Automobile Driving", *Proceedings of the Tokyo IFAC Symposium*, 1965, pp 347-357.

<sup>7</sup> K. H. F. Cardew, "The Automatic Steering of Vehicles - An Experimental System Fitted to a Citroen Car", Road Research Laboratory, RL 340, Great Britain, 1970.

<sup>8</sup> T. Ito M. Furumata, et al. (Japan Automobile Research Institute, Inc.), "An Automatic Driving System of Automobiles by Guidance Cables", *Society of Automotive Engineers*, nº 730127, January 1973.

<sup>9</sup> "Mobility 2000 Presents Intelligent Vehicle Highway Systems", *IVHS America*, Washington D. C., April 1990.

de um programa específico envolve um Departamento de Transportes estadual, uma instituição acadêmica, algumas indústrias locais e outras organizações independentes.

A legislação (ISTEA) solicitou ao USDOT a elaboração de um planejamento estratégico para o IVHS. Desde então um programa foi desenvolvido pelo IVHS America e apresentado em meados de 1992<sup>10</sup>.

A busca por avanços tecnológicos no setor rodoviário, através de modernas técnicas de pesquisa e exploração, levou o USDOT ao desenvolvimento de um multifacetado programa, envolvendo a pesquisa de sistemas e tecnologias promissoras que fornecessem substanciais benefícios nas respectivas áreas.

A aplicação de tecnologias avançadas de informação, controle e comunicação ao sistema rodoviário é atualmente conhecida como Sistema Inteligente de Transportes (ITS).

### 3.4. FUNÇÕES DOS ITS

A função essencial dos ITS é aprimorar as operações do sistema de transportes, assegurando os objetivos de melhorar sua eficiência, segurança, produtividade e qualidade energética e ambiental. Esses objetivos são comuns, em todas as localidades onde os sistemas estão sendo implantados, mas as prioridades podem variar de uma região para outra.

Uma das principais prioridades consiste no aumento da eficiência do sistema rodoviário, com o aumento da capacidade das rodovias existentes, através das operações dos ITS. Em alguns países, o problema do congestionamento tende a agravar-se significativamente. Devido aos problemas de ordem financeira e ambiental, a construção de novas rodovias não consegue acompanhar o crescimento da demanda do tráfego, e os ITS apresentam-se como uma nova opção para reduzir os problemas rodoviários. Mesmo em países onde programas de expansão da rede rodoviária estão em pleno desenvolvimento, os ITS oferecem a possibilidade do aumento da capacidade por pista, reduzindo as necessidades financeiras. O mesmo vale para os veículos, pois com as operações dos sistemas de gerenciamento do trânsito, um número menor de veículos é necessário para o transporte da mesma quantidade de carga ou passageiros.

---

<sup>10</sup> "Strategic Plan for Intelligent Vehicle-Highway Systems in the United States", *IVHS America*, Washington D. C., Rpt. N° IVHS-AMER-92-3, May 1992.

Países que têm recentemente implementado programas ITS, concordam sobre a abrangência das funções dos sistemas, que corresponde aos serviços oferecidos aos usuários. Uma classificação dos serviços é apresentada na tabela 3.1, baseada nos programas desses países<sup>11</sup>. Observa-se que os serviços aos usuários consistem em tecnologias independentes, isto é, cada operação pode ser promovida por mais de uma das tecnologias alternativas, ou até sem as mesmas. Entretanto, a provisão de alguns serviços presume ações em conjunto. Por exemplo, o gerenciamento do tráfego é, com certeza, facilitado pelas tecnologias ITS, mas a sua implementação requer suporte político em países com o sistema rodoviário controlado por empresas estatais.

**Tabela 3.1 - Tecnologia ITS**

<b>PACOTE DE SERVIÇOS</b>	<b>SERVIÇO OFERECIDO</b>
Gerenciamento Avançado de Viagens e do Tráfego	Informação aos motoristas e viajantes Controle do tráfego Gerenciamento de incidentes Manutenção da infra-estrutura viária Mitigação das emissões atmosféricas Cobrança eletrônica de pedágio Gerenciamento do trânsito
Sistemas Avançados de Controle e Segurança dos Veículos	Prevenção de colisão longitudinal Prevenção de colisão lateral Controle integrado de manobras Dispositivos para prevenção de acidentes Sistemas rodoviários automatizados

Fonte: ERTICO, "Services and Functions," CONVERGE Project TR 1101, Version 1.0, Brussels, Belgium, November 1996.

<sup>11</sup> ERTICO, "Services and Functions," CONVERGE Project TR 1101, Version 1.0, Brussels, Belgium, November 1996.

### 3.5. DEFINIÇÕES TÉCNICAS BÁSICAS

A base dos ITS é a aplicação das tecnologias de informação e controle aos sistemas de transportes, que incluem *hardwares* e *softwares* de comunicações e de controle automático. A adaptação dessas tecnologias aos transportes requer conhecimentos de alguns campos da engenharia, como civil, elétrica, mecânica, industrial e de produção, e suas disciplinas relativas: por exemplo, engenharia de tráfego, dinâmica dos veículos, ciências da computação, pesquisas operacionais e fatores humanos. A reunião dessas tecnologias, para a execução das funções dos ITS, está baseada nos princípios da engenharia de sistemas.

Em uma perspectiva dos sistemas, os principais componentes dos transportes compreendem a infra-estrutura de transportes, os veículos e as pessoas envolvidas com o sistema, incluindo os operadores, motoristas e viajantes. Todas essas pessoas tomam decisões, baseadas em informações disponíveis, e suas decisões freqüentemente afetam as demais. Alguns dos problemas dos transportes surgem da falta de informações precisas e oportunas, e da ausência de coordenação apropriada entre as decisões tomadas pelas pessoas do sistema. A importância da tecnologia de comunicações e informática é fornecer melhores informações, contribuindo para que as pessoas envolvidas tomem decisões coordenadas, de acordo com os objetivos de aumento da eficiência, da segurança, da produtividade e da qualidade do ar, possibilitados pelos ITS.

Os ITS são constituídos por áreas de pesquisa interrelacionadas. Para a elaboração deste trabalho, foram selecionadas as tecnologias consideradas de maior relevância, as quais podem ser organizadas da seguinte forma:

## SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO

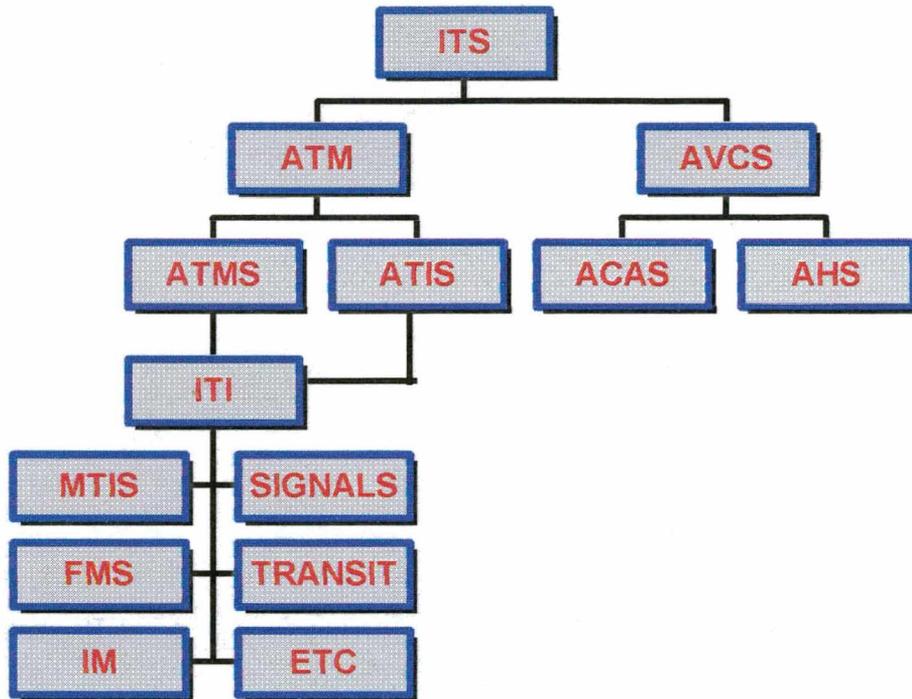


Figura 3.1 - Organograma ITS

### LEGENDA:

- ITS - Sistemas Inteligentes de Transportes
- ATM - Gerenciamento Avançado de Viagens
- ATMS - Sistemas Avançados de Gerenciamento do Tráfego
- ATIS - Sistemas Avançados de Informações aos Viajantes
- ITI - Infra-estrutura Inteligente de Transportes
- MTIS - Sistema Multimodal de Informações aos Viajantes
- SIGNALS - Sistema de Controle de Semáforo
- FMS - Sistemas de Gerenciamento de Rodovias
- TRANSIT - Sistemas de Gerenciamento do Trânsito
- IM - Programas de Gerenciamento de Incidentes
- ETC - Sistema Eletrônico de Pedágio
- AVCS - Sistemas Avançados de Controle de Veículos
- ACAS - Sistemas Avançados de Prevenção de Colisões
- AHS - Sistema Rodoviário Automatizado

## 3.6. TECNOLOGIAS AVANÇADAS APLICADAS AOS SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO

### 3.6.1. Introdução

Paralelamente à viabilidade de implementação dos sistemas inteligentes de transporte rodoviário, surge a necessidade de uma coleta de dados sobre o tráfego, mais eficiente e adequada a cada tarefa específica.

As tecnologias de informação e controle utilizadas pelos sistemas podem ser subdivididas de acordo com a sua função, ou seja, de coleta, processamento e disseminação de informações relevantes, e de apoio a decisões e ao controle, baseado nessas informações. Nos ITS, as sub-funções estão relacionadas com o tráfego, com os veículos e com as pessoas envolvidas. Tecnologias selecionadas e suas sub-funções são abaixo descritas.

Nas rodovias, um pré-requisito para os diversos serviços dos ITS é a coleta de informações precisas e oportunas sobre o tráfego e as condições viárias. Durante anos, a vigilância do tráfego tem sido executada pelos detetores *loop*, como os empregados nos controles de semáforo SCCOOT e SCATS. Atualmente, os detetores *loop* têm sido suplementados por dispositivos óticos, como circuito fechado de televisão (CCTV) e processadores de imagens, que fornecem imagens em tempo-real e a análise das mesmas, com objetivos de gerenciamento do tráfego. A vigilância, através de patrulha rodoviária ou por helicópteros, também propicia a aquisição de informações importantes, especialmente durante a ocorrência de incidentes. As informações sobre o tráfego, coletadas de várias formas, são repassadas aos centros de gerenciamento por meio de linhas de transmissão (linha telefônica ou fibra ótica, por exemplo) e canais, como rádio e telefonia celular.

No centro de controle, *hardwares* e *softwares* são utilizados para a fusão dos dados do tráfego, combinando todas as informações que são apresentadas nos terminais de computador e/ou em painéis de controle do tráfego. Municípios com dados precisos, os operadores podem tomar decisões sobre o controle de semáforos, decisões essas coordenadas com os tempos de controle de acesso às rodovias (*ramp meters*). A detecção automática e uma ação coordenada entre as agências podem reduzir significativamente os tempos de resposta aos incidentes. Informações sobre o tráfego

podem também ser transmitidas do centro operacional aos viajantes, através dos painéis de mensagens variáveis instalados nas rodovias, através do sistema de rádio-consulta rodoviária (HAR) ou, ainda, através de sistema especial de televisão. A coleta e a disseminação das informações sobre o tráfego rodoviário são úteis para diversas aplicações dos ITS. Investimentos iniciais enfatizaram o desenvolvimento de *hardwares* e *softwares* e os acordos cooperativos entre as jurisdições, com o objetivo do compartilhamento das informações e da padronização da troca de dados.

Para os veículos, diversos países estão executando a instalação de dispositivos de comunicação de curto alcance (DSRC), que podem auxiliar várias funções, como a cobrança eletrônica de pedágio, as operações comerciais e o acesso a informações (a bordo do veículo). Desse modo, a alocação de espectros de frequência que suportem aplicações DSRC pelas autoridades apropriadas torna-se pré-requisito básico para o desenvolvimento dos ITS. Os mapas rodoviários digitais consistem em uma importante tecnologia de apoio à navegação de bordo, à troca de dados do tráfego, ao gerenciamento de frotas e aos serviços de emergência.

A seguir serão destacadas algumas tecnologias que, em conjunto ou separadamente, dão suporte ao desempenho operacional dos sistemas rodoviários.

### **3.6.2. Detecção De Veículos**

#### **3.6.2.1. Introdução**

Detecção de veículos é a capacidade de sentir e de identificar a presença ou a passagem de um veículo.

Os primeiros detectores pneumáticos serviam apenas para contagem e constituíam-se de tubos portáteis e de contadores eletro-mecânicos. Atualmente os sistemas existentes são capazes de classificar o veículo de diversas formas como, por exemplo: pela velocidade, pelo tipo, pelo peso etc.

Uma distinção entre os sistemas detectores, sensores e de monitoramento de tráfego pode ser feita da seguinte forma:

- Sistema Sensor - é um equipamento colocado junto à rodovia, capaz de "anotar" a presença ou passagem de um veículo;
- Sistema Detector - pode ser definido como um aparato eletrônico que, conectado ao sensor, tem o objetivo de possibilitar a identificação do veículo com os dados anotados;
- Sistema de monitoramento - é a incorporação do sensor, do detector e de um equipamento de armazenagem, análise e transmissão dos dados obtidos na detecção do veículo.

### **3.6.2.2. Tipos de Detectores**

Existem diversos tipos de detectores de veículos, cada qual com suas próprias características e possibilidades de aplicação.

Uma maneira de classificar os detectores é conforme a abrangência da área que o mesmo controla, ou seja, os detectores serão catalogados como detectores de zona-simples ou múltiplas.

A maioria dos detectores são de zona-simples, isto é, a detecção é limitada a uma pista ou a uma área, contendo várias pistas que não necessitem ser discriminadas particularmente. São exemplos de detectores de zona-simples:

- **ILD-Inductive Loop Detector**

O sistema ILD consiste de um ou mais conjuntos de cabos elétricos isolados e entrelaçados, colocados sob o pavimento.

Um cabo condutor transmite energia à unidade detectora. O ILD forma um circuito elétrico e, quando o veículo passa sobre o conjunto de fios, provoca uma redução na indutância do circuito. Essa redução atua no detector eletrônico, alternando a corrente e emitindo um impulso à unidade controladora, significando que esta detectou a passagem ou presença de um veículo.

- **Detector Magnetômetro**

O detector magnetômetro opera através da variação do campo magnético causada pela presença ou passagem de um veículo sobre uma sonda magnética instalada no pavimento. Uma alteração na voltagem é observada e registrada pela unidade eletrônica que capta veículos a uma velocidade de 0 a 100 mph. Tal sistema consiste, basicamente, de uma ou mais sondas magnéticas, cabo da sonda, cabo de entrada e unidade eletrônica.

Esse detector proporciona uma alternativa ao ILD, mas pode tornar-se economicamente inviável, em função da quantidade de sondas instaladas de acordo com a área de interesse.

Os detectores de zona múltipla são capazes de controlar várias pistas e uma área maior que a dos anteriores, podendo também identificar as informações coletadas de cada pista, individualmente. Como exemplo, podem ser citados:

- Detectores/Radar
- Detectores/Vídeo-imagens
- Detectores/Microonda

### **3.6.3. Classificação Automática de Veículos**

#### **3.6.3.1. Introdução**

Uma das principais funções da classificação de veículos é a de auxiliar os responsáveis pelo controle rodoviário na estimativa dos custos de construção e da manutenção de rodovias, de acordo com o tipo de veículo que faz uso destas.

A coleta de dados é feita de diversas maneiras, refletindo a necessidade de prever a demanda futura de tráfego para todas as classes de usuários.

O requisito básico para um melhor levantamento espacial e temporal dos dados de tráfego passa pelo desenvolvimento de sistemas portáteis ou semi-portáteis de coleta, capazes de informar as velocidades, *headways* e tipos de veículos.

### 3.6.3.2. Elementos da Classificação de Veículos

A classe do veículo pode ser determinada de várias maneiras: pelos atributos físicos do veículo, pelo número de ocupantes, pelo propósito para o qual o veículo está sendo utilizado, ou por combinações desses determinantes.

Um exemplo: um veículo com dois eixos e um conjunto simples de pneus no segundo eixo, pode ser classificado como um automóvel; enquanto que um veículo com dois eixos e um conjunto duplo de pneus no segundo eixo, classificado como um caminhão. Esta é uma maneira primitiva de classificação.

Determinar a classe do veículo automaticamente, entretanto, consiste em uma tarefa bem mais complexa. No exemplo anterior, os dois veículos eram distinguidos pelo número de pneus no segundo eixo. Em outros casos, dois veículos podem ser diferenciados por sua altura, comprimento ou peso total. Conseqüentemente, o processo de classificação automática de veículos pode necessitar de diversas informações, para situar um determinado veículo em sua classe apropriada.

Como determinantes das classes de veículos, pode-se destacar:

- Número de eixos e/ou pneus;
- Dimensões (altura, comprimento, distância entre eixos, altura sobre o primeiro eixo);
- Peso;
- Número de ocupantes;
- Propósito para o qual o veículo está sendo utilizado.

### 3.6.3.3. Funcionamento

Um sistema de classificação automática de veículos consiste de um dispositivo sensor, instalado na pista, que grava as características físicas do veículo, e uma unidade de processamento, que agrega as informações fornecidas pelos sensores e as interpreta, classificando o veículo passante.

### 3.6.3.4. Equipamentos

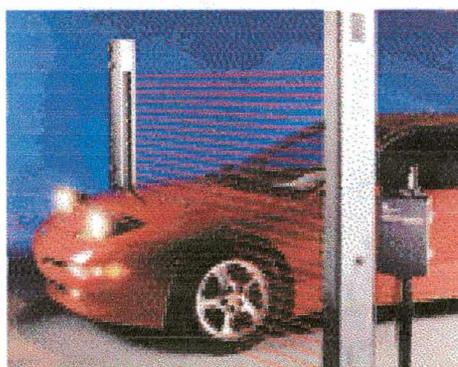
Diversos equipamentos são utilizados na classificação automática dos veículos, como:

**A) Loops indutivos:** Fios elétricos, instalados no pavimento, utilizados para detectar a presença do veículo, através da sensibilidade de massa metálica do mesmo.

**B) Treadles:** Dispositivos sensíveis de pressão, instalados na rodovia. Utilizados na determinação do número de eixos, número de rodas, e a direção de deslocamento do veículo. Uma série paralela de sensores detecta a direção do movimento do eixo. Os *treadles* são capazes de classificar os veículos, baseados no princípio físico da conversão da pressão da roda em sinais elétricos, que são reconhecidos por unidades lógicas.

**C) Dispositivos de pesagem (com o veículo em movimento):** Dispositivos sensíveis de pressão, armados na rodovia e utilizados para determinar o peso do eixo passante. Muitos dos sensores utilizados na pesagem são semelhantes aos dos *treadles*, sendo que estes últimos utilizam, também, sensores capazes de determinar a direção de deslocamento do eixo.

**D) Cortina de raios:** Dispositivos que emitem raios luminosos múltiplos, que registram a presença e o perfil do veículo passante. Uma torre transmissora emite raios que atravessam a pista até uma torre receptora. Quando o veículo cruza o feixe de raios, o equipamento grava o seu perfil bi-dimensional.



**Figura 3.2 – Cortina de Raios**

E) *Scanners*: Dispositivos que geram radiação, em várias frequências, para detectar a presença e o perfil dos veículos.

#### Tipos de *Scanners*:

- *Scanner* ultrassônico: Dispositivos que emitem ondas ultrassônicas, que são refletidas e detectam a presença do veículo e seu perfil bi-dimensional. Esses equipamentos têm seu funcionamento sujeito a mudanças de temperatura ou de umidade e a distorções, provocadas pela turbulência do ar. Apesar disso, o Japão utiliza essa tecnologia extensivamente no processo de classificação de veículos.
- *Scanner* infravermelho: Esta tecnologia é utilizada, também, para a detecção dos veículos, utilizando, vertical ou horizontalmente, um sistema de câmeras digitais (com tecnologia de raio infravermelho). Informações, provindas do equipamento, são processadas, produzindo imagens bi-dimensionais, que são comparadas às de um gabarito pré-estabelecido, e determinam a classificação do veículo.
- *Scanner a laser*: Utiliza a tecnologia *laser* para detectar e classificar veículos, em operações que envolvam altas velocidades e grande número de veículos. As informações são processadas e fornecem imagens em três dimensões. A classificação é feita da mesma forma que a dos sistemas anteriormente mencionados.

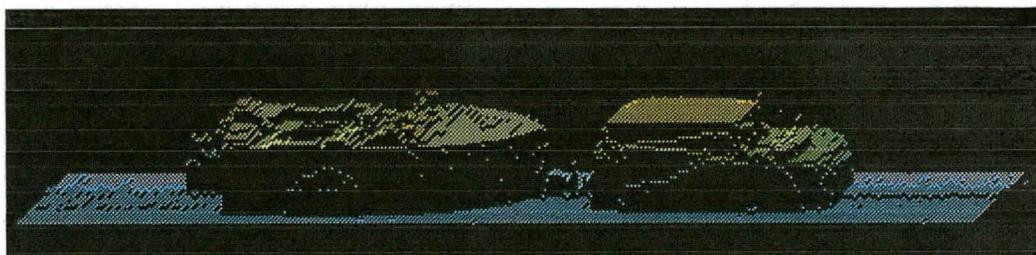


Figura 3.3 - Imagem "*Laser*" Processada

**F) Processamento de vídeo-imagens:** Estes dispositivos dispõem de vídeo-câmeras, para registrar o tráfego e *softwares* que utilizam as imagens para a determinação das características dos veículos (comprimento, altura, largura) e, com isso, classificá-los.

### **3.6.4. Identificação Automática de Veículos (AVI)**

#### **3.6.4.1. Introdução**

AVI é o termo utilizado para descrever sistemas capazes de identificar um veículo em um sistema de tráfego, em vários pontos da rede.

O sistema AVI não somente detecta e classifica, como também identifica um veículo em um determinado tempo e lugar. O potencial de utilização do sistema AVI é muito grande, incluindo a melhoria dos transportes públicos e as técnicas de monitoramento de frotas.

No sistema rodoviário, a utilização mais comum do AVI está associada à cobrança eletrônica de pedágio.

A tendência atual é de que, equipados com uma unidade de identificação, os veículos de usuários comuns de rodovias não sejam obrigados a interromper o percurso para pagar pedágio nos postos de cobrança. Os veículos são automaticamente identificados e regularmente cobrados pela utilização dos serviços rodoviários.

#### **3.6.4.2. Tecnologias**

Quase todos os sistemas AVI possuem o mesmo projeto básico, que consiste de três componentes:

- Veículo adaptado com uma unidade de identificação que o distinga particularmente.
- Uma unidade leitora, instalada na margem da rodovia, capaz de identificar cada veículo passante.
- Um sistema central de processamento, o qual grava e/ou analisa as informações transmitidas pela unidade leitora.

A tecnologia AVI, em função das técnicas que utiliza, pode ser dividida em duas categorias principais:

#### **3.6.4.2.1. Sistemas *Laser***

Esses sistemas utilizam a tecnologia de código de barras. O código é gravado no veículo (freqüentemente na janela traseira, do lado do motorista), e a identificação do veículo é feita através de leitura por um *scanner a laser*.

A tecnologia *laser* possui alguns inconvenientes que limitam a sua utilização, principalmente sob condições climáticas adversas ou em lugares onde a poluição possa atrapalhar a sensibilidade do sistema, causando erros de leitura. Outro inconveniente é o limite máximo de distância entre o veículo e o equipamento leitor.

#### **3.6.4.2.2. Sistemas de Rádio-Freqüência**

Os sistemas de rádio-freqüência utilizam um dispositivo chamado *transponder*, que é instalado no pára-choques, no pára-brisa, ou no bagageiro do veículo. Este dispositivo armazena dados sobre o veículo, captados por meio de uma antena receptora de rádio-freqüência.

Além da utilização comum na cobrança eletrônica de pedágio, os sistemas de rádio-freqüência têm aplicação nos sistemas de comunicação veicular e de monitoramento do tráfego.

Existem três tecnologias principais de rádio-freqüência, desenvolvidas ou em fase de testes operacionais, que são destacadas a seguir:

##### **A) Etiquetas de rádio-freqüência (RF):**

- **Conceito:**

A etiqueta de rádio-freqüência é um dispositivo instalado dentro ou fora do veículo o qual, em conjunto com a antena de rádio-freqüência (sistema leitor), é

utilizado para fornecer informações e identificação do veículo e/ou do usuário ao sistema de controle de tráfego (de pedágio, de monitoramento etc.).

As informações contidas na etiqueta estão disponíveis apenas para leitura e não podem ser alteradas ou processadas. São geralmente conhecidas como etiquetas Tipo I. Contudo, algumas etiquetas contêm uma área de *update*, na qual o sistema pode codificar informações como local, data e hora da identificação. Essas etiquetas são conhecidas como Tipo II. As etiquetas de rádio-freqüência têm sido utilizadas, há vários anos, em muitos sistemas rodoviários, de diversos países.

- **Funcionamento:**

As etiquetas de rádio-freqüência são capazes de, ao mesmo tempo, enviar e receber dados. A geração do sinal, que faz a comunicação com o sistema leitor, é feita de duas maneiras:

- a) Ativamente: A etiqueta contém um transmissor e gera seu próprio sinal de rádio-freqüência ao sistema leitor.
- b) Passivamente: A etiqueta reflete o sinal recebido do sistema leitor.

Existem, atualmente, três freqüências utilizadas pelas etiquetas RF:

⇒ 900-928 MHz

⇒ 2,45 GHz

⇒ 5,8 Ghz

O alcance máximo das antenas RF é em torno de 100 pés, sendo 20 e 30 pés as distâncias mais usuais para a comunicação.

As etiquetas em uso contêm memória na faixa de 128 bites até 16 megabites, e uma bateria (que não pode ser trocadas nem recarregada) com tempo de vida útil na faixa de dez anos.

Outras características das etiquetas RF incluem:

- ⇒ LED: Via controlável de leitura, que fornece informações especiais ao motorista;
- ⇒ LCD: Via controlável de leitura de mensagens;
- ⇒ Alarme (ou outro dispositivo gerador de som): Equipamento de alerta para o motorista;
- ⇒ Portas de comunicação: Dispositivos que permitem a comunicação entre a etiqueta e demais equipamentos do veículo.

As etiquetas com algumas ou todas as características acima são conhecidas como Tipo III.

### **B) Etiquetas inteligentes de rádio-freqüência**

Essas etiquetas possuem, basicamente, as mesmas características da anterior, com as seguintes distinções:

- ⇒ Possuem um sistema de contagem de utilização. Cada vez que a etiqueta for lida, um microprocessador registra e atualiza a contagem;
- ⇒ São capazes de, ao mesmo tempo, receber e enviar dados;
- ⇒ O alcance máximo das antenas é maior;
- ⇒ Possuem uma bateria que dura cerca de dois anos e pode ser recarregada.

### **C) Cartões magnéticos com *transponder***

- **Conceito:**

O cartão magnético compreende um circuito-integrado, composto de um microprocessador e uma memória que armazena informações de contagem. O *transponder* é um dispositivo de rádio-freqüência instalado no veículo, que propicia a

*interface* de comunicação entre o cartão e o sistema leitor. O *transponder*, geralmente, é uma etiqueta de rádio-freqüência Tipo III, que contém informações sobre o veículo e as transmite ao sistema leitor, ao mesmo tempo que repassa informações a respeito do cartão magnético.



**Figura 3.4 - Transponder**

- **Funcionamento:**

Os cartões magnéticos utilizam sistemas ativos e passivos de transmissão de sinais e suas características, como processo de transmissão, alcance e freqüência, são semelhantes às das etiquetas de rádio-freqüência.

Cada pista da rodovia é equipada com uma antena de rádio-freqüência que, usualmente, é instalada no centro da pista, acima da rodovia (existem sistemas implementados, onde a antena é instalada na própria rodovia). Cada antena é conectada ao sistema leitor, que controla a comunicação entre ela e a etiqueta instalada no veículo.

O sistema leitor envia um sinal (através da antena) à etiqueta e esta retorna informações, capazes de identificar cada veículo, particularmente. Com a utilização do *transponder*, informações adicionais podem ser transmitidas, como contagem de utilização, local, data e hora da identificação etc.

Existem outros tipos de sistemas de identificação de veículos, dos quais podemos citar:

- Sistemas Ótico e Infravermelho
- Sistema de Rádio e Satélite
- Sistemas de Circuito Indutivo
- Sistemas de Microondas

### **3.6.5. Sistemas de Captura e Processamento de Imagens**

#### **3.6.5.1. Introdução**

Uma das mais utilizadas e versáteis tecnologias aplicadas aos sistemas rodoviários é, sem nenhuma dúvida, a de captura e processamento de imagens. Sua utilização vai desde a simples detecção de veículos, passa pela coleta eletrônica de pedágio, até a aplicação em complexos e abrangentes sistemas de monitoramento de tráfego.

#### **3.6.5.2. Tecnologias**

##### **A) Fotografias**

Os sistemas de imagens pioneiros utilizam câmeras fotográficas analógicas para execução de suas operações; contudo, esta tecnologia vem, gradualmente, sendo abandonada. O excessivo trabalho na tarefa do processamento das imagens, problemas relacionados com a correlação da imagem com o local, data e hora do registro, necessidade de um equipamento específico para cada pista da rodovia e problemas com o armazenamento das imagens têm tornado essa técnica inaceitável.

##### **B) Vídeo-Tape**

Os equipamentos gravadores de vídeo (VCR) foram, subseqüentemente às fotografias, utilizados no processo de captura de imagens de veículos.

O vídeo-tape possui capacidade de avanço, retrocesso e pausa das imagens registradas, permitindo, assim, maiores possibilidades de aproveitamento das informações contidas nas mesmas, levando-se em consideração o propósito para o qual as imagens estão sendo registradas (gravação de licenças de veículos, das condições do trânsito etc). Essa tecnologia permite ainda o acesso a outros tipos de informação, como: data, hora e rodovia registrada.

O registro é feito com duas velocidades de gravação diferentes. Rápida, quando o que mais interessa para o controle é a quantidade de informações, e lenta, para situações onde a definição da imagem é considerada fato primordial.

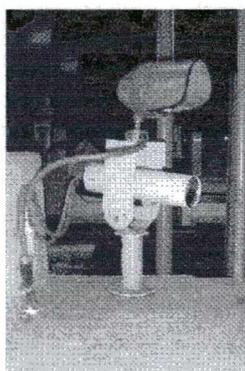
Podem ser apontados como maiores inconvenientes da utilização da referida tecnologia as necessidades de operações manuais (ex.: troca de fitas), em operações mais longas, e de instalação de equipamentos em cada pista da rodovia a ser controlada.

### **C) Imagens Digitais**

Os sistemas digitais podem ser considerados como a mais moderna implementação na área do processamento de imagens. Esses sistemas utilizam tecnologias de captura e armazenamento digital das imagens, possuindo como principal característica a digitalização eletrônica de todo o processo e o envio remoto das imagens ao destino desejado.

Além disso, os sistemas digitais podem estar diretamente conectados com os bancos de dados das centrais responsáveis pelo licenciamento de veículos (ex.: RENAVAM). Isso facilita muito o processo de identificação de um veículo, reduzindo os custos operacionais. Por exemplo: na cobrança de pedágio ou de multas por infrações de trânsito, o sistema informa diretamente o local do registro da licença e o proprietário do veículo em questão.

Esta tecnologia, como as anteriormente citadas, também requer uma câmera específica para cada pista; entretanto, todas as imagens capturadas por uma série de câmeras, podem ser armazenadas juntas, em uma central apropriada.



**Figura 3.5 - Câmera para Controle de Tráfego**

### 3.6.5.3. Funcionamento

- **Disparadores:** Sensores, instalados na pista, informam ao sistema de captura de imagens que o veículo está posicionado para ser registrado; então, o disparador dá início ao processo de captura de imagens.
- **Aquisição da Imagem:** A câmera captura uma imagem analógica do veículo e procede a sua conversão, através do processo digital.
- **Identificação da Imagem:** Cada veículo passante por um ponto de controle de tráfego ou de pedágio tem sua imagem registrada e armazenada, temporariamente, na memória do sistema. Dependendo da operação (controle de velocidade, cobrança de pedágio, contagem de tráfego etc.) o sistema salva as imagens de todos os veículos, ou as dos quais, particularmente, a operação requer. O sistema também registra o local, data e hora da captura das imagens.
- **Armazenamento das Imagens:** As imagens podem ser armazenadas localmente ou remotamente enviadas a uma central de armazenamento.
- **Processamento da Imagem:** As imagens são, usualmente, processadas por um sistema revisor, geralmente instalado em uma central de operações, e transmitidas de diversas maneiras (fita ou disco ótico, transmissões de rede de computadores etc.).

## **CAPÍTULO 4 - GERENCIAMENTO AVANÇADO DE VIAGENS**

## **4. ATM - GERENCIAMENTO AVANÇADO DE VIAGENS**

### **4.1. INTRODUÇÃO**

Essa área de pesquisa busca o desenvolvimento de projetos voltados à melhoria das capacidades de viagens rodoviárias, do tráfego e de informações aos usuários do sistema de transportes.

Tecnologias avançadas - de controle de rodovias, sistemas de semáforo, sistemas de informações aos viajantes, entre outros - aplicadas ao setor, aumentam a segurança, produtividade e diminuem os congestionamentos do tráfego.

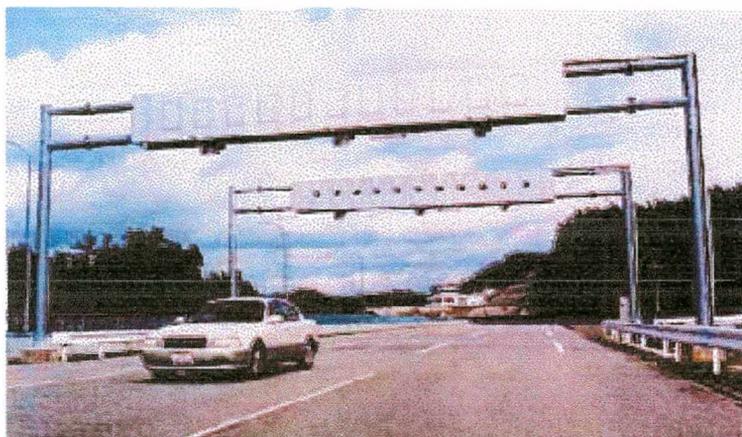
Os principais aspectos desse programa incluem os sistemas avançados de monitoramento do tráfego (ATMS) e os sistemas avançados de informações aos viajantes (ATIS).

### **4.2. ATMS - SISTEMAS AVANÇADOS DE MONITORAMENTO DO TRÁFEGO**

São sistemas que envolvem o monitoramento e o controle do tráfego viário. Um sistema vigilante é utilizado para detectar as condições do tráfego, usualmente em áreas metropolitanas e em suas vias arteriais.

As informações coletadas pelo sistema são enviadas a um centro de monitoramento, para que sejam processadas e depois utilizadas no controle do tráfego, definindo o fluxo, dimensionando o congestionamento e detectando incidentes.

As tecnologias envolvidas estão associadas com a detecção, comunicação, processamento de informações e controle de veículos, utilizando equipamentos e técnicas avançadas de vídeo-controle.



**Figura 4.1 - Sistema de Monitoramento de Tráfego**

#### **4.3. ATIS - SISTEMAS AVANÇADOS DE INFORMAÇÕES AOS VIAJANTES**

Os ATIS destinam-se a interpretar e repassar, aos usuários de rodovias, informações digitais a respeito das condições do tráfego e, em alguns casos, especificar a melhor rota, baseando-se na premissa de que quanto mais bem informado estiver o viajante, melhor será a eficiência do sistema. Tais informações podem ser obtidas de diversas maneiras, inclusive a bordo do próprio veículo ou através de boxes instalados à margem das rodovias, ou por meio de receptores portáteis e telefonia celular.

Fora dos veículos, também, os sistemas oferecem serviços como o planejamento de viagens, mapas de fluxo do tráfego e de operações do trânsito. Essas informações podem ser obtidas *on-line*, via Internet ou *paggers*.

As tecnologias relevantes estão associadas com a detecção de veículos, comunicação, processamento e apresentação de informações. Existe o aspecto do fator humano, associado a esta área, especialmente no que diz respeito às informações obtidas a bordo do veículo.

#### 4.4. O PROGRAMA ATM - USDOT / FHWA

##### 4.4.1. Objetivos

O programa tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma rede multimodal integrada de infra-estrutura de informações, produtos e serviços. A rede integrada poderá:

- Utilizar as fontes de monitoramento, públicas e privadas, com a finalidade de conhecer as condições do tráfego nas rodovias, e dinamicamente ajustar os dispositivos de controle do tráfego;
- Utilizar as informações, em tempo-real, fornecendo respostas rápidas a problemas emergenciais do trânsito, indicando rotas alternativas, mais eficazes;
- Melhorar o cumprimento das leis de trânsito, por parte dos usuários, com serviços de comunicação e informação;
- Fornecer aos usuários informações dinâmicas sobre roteamento e posicionamento de veículos (e outras informações, convenientes, a respeito do trânsito);
- Dar suporte aos órgãos públicos, no sentido de reduzir os problemas de tráfego;
- Incentivar a implantação de novos sistemas eletrônicos de cobrança de pedágio;
- Sustentar o planejamento dos transportes rodoviários.

##### 4.4.2. Pesquisas e Testes Operacionais

Esforços correntes e planejados do programa incluem:

- Desenvolvimento de modernos sensores, capazes de fornecer uma melhor visualização do desempenho da rede viária;
- Desenvolvimento de *softwares* avançados para análise e controle do tráfego existente e para previsões sobre tráfegos futuros;
- Desenvolvimento de um sistema avançado de controle de tráfego, que adapte dinamicamente à rede viária a demanda por determinadas áreas.
- Desenvolvimento de novas capacidades de controle de tráfego em tempo-real;

- Teste de diversas maneiras de fornecimento de informações aos viajantes (a bordo dos veículos, nas rodovias, em suas residências ou locais de trabalho etc.);
- Desenvolvimento, aperfeiçoamento e adaptação de tecnologias relativas aos sistemas de controle. Tecnologias como GPS (Global Positioning Systems), rádio-comunicação e de informações geográficas, referenciadas por mapas digitais.
- Desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias de cobrança de pedágio.

#### **4.4.3. Benefícios Projetados**

Uma infra-estrutura, completamente integrada, de controle e de informações, resultará em economia de tempos de viagem, aumento da segurança do trânsito e redução dos custos operacionais. Somando-se a isto, os avanços nas áreas de informação e gerenciamento de viagens gerarão novos serviços e produtos, muitos dos quais oriundos do setor privado.

### **4.5. ITI - INFRA-ESTRUTURA INTELIGENTE DE TRANSPORTE DO PROGRAMA USDOT / FHWA**

#### **4.5.1. Introdução**

Projetos que buscam melhorar as capacidades de gerenciamento de viagens (relacionadas com o tráfego), de informações aos viajantes e de avanços do transporte público formam, em conjunto, os componentes críticos de um sistema integrado de transportes inteligentes, especialmente em áreas metropolitanas. Usando tecnologias modernas, o desenvolvimento e o aperfeiçoamento desses componentes apresentam benefícios significantes, visando à integração e à coordenação dos sistemas.

Durante 1995, o USDOT e o ITS AMERICA identificaram um conjunto principal de infra-estrutura dos sistemas inteligentes de transportes, que compartilham de uma arquitetura idêntica, para permitir a evolução consistente do mercado de tecnologias ITS. Esses componentes - sistemas de sinalização do tráfego, gerenciamento de rodovias, gerenciamento do trânsito, sistemas de informação ao viajante e de emergência - produzem benefícios como segurança, redução dos congestionamentos e aumento de produtividade.

Os componentes podem ser integrados em uma estrutura única de comunicação, para facilitar o acesso às informações. Essa integração permite aumentar substancialmente as funções individuais de controle do tráfego e criar uma série de serviços públicos e privados.

Pesquisas, testes operacionais e diversos projetos voltados ao Gerenciamento Avançado de Viagens estão contribuindo com uma série de ferramentas e técnicas para a melhoria da capacidade de integração dos Sistemas Inteligentes de Transporte. Os aspectos principais desse programa incluem trabalhos ligados aos Sistemas Avançados de Monitoramento do Tráfego e aos Sistemas Avançados de Informações aos Viajantes.

#### **4.5.2. Conceito**

Pode-se definir Infra-estrutura Inteligente de Transportes (ITI) como sistemas de detecção e gerenciamento do tráfego, de comunicações e de controle, necessários ao suporte operacional dos sistemas inteligentes de transportes, em áreas metropolitanas. Divide-se a tecnologia nos seguintes componentes:

- Sistema de Gerenciamento de Rodovias (FMS)
- Sistema de Controle de Semáforos (Signals)
- Programas de Gerenciamento de Incidentes (IM)
- Sistema de Gerenciamento do Trânsito (Transit)
- Sistema Multimodais de Informação aos Viajantes (MTIS)
- Sistema Eletrônico de Pedágio (ETC)

#### **4.5.3. Sistema Multimodal de Informações aos Viajantes**

##### **4.5.3.1. Descrição**

As áreas metropolitanas são, geralmente, constituídas por diversas jurisdições e organizações responsáveis pela supervisão, gerenciamento e controle do tráfego. Existe a necessidade da centralização das fontes de informação, do trânsito e das rodovias, para que haja um integrado e compreensivo panorama das condições do

tráfego rodoviário. Os usuários potenciais dessas informações são os viajantes, os órgãos e operadores responsáveis pelo trânsito e as empresas de transporte.

Os MTIS possuem a capacidade de combinar dados de várias fontes e armazená-los em diversos formatos, repassando informações aos usuários através de diferentes canais, como telefonia (comum ou celular), rádio-frequência, transmissão de sinais televisivos, cabines especialmente equipadas, internet etc. A distribuição das informações pode ser feita através do setor público ou do privado.

#### **4.5.3.2. Benefícios**

Os MTIS são responsáveis pelo fornecimento de uma parte dos mecanismos responsáveis pelas informações relativas ao tráfego e deslocamentos, em geral. O processo permite ao usuário o ajuste dos agenciamentos das viagens, a escolha do modal e da rota, em função das informações obtidas. Adicionalmente, os MTIS facilitam o compartilhamento das informações, a coordenação do controle do tráfego e a resposta rápida aos incidentes, além do auxílio à comunicação inter-jurisdicional. Essas capacidades produzem importantes benefícios nas áreas de segurança e eficiência das viagens.

#### **4.5.3.3. Exemplos de Projetos e Atividades Relacionadas aos Sistemas Multimodais de Informações aos Viajantes**

A seguir, tem-se uma lista dos projetos de aperfeiçoamento da infraestrutura, das atividades e dos testes operacionais, relativos ao estado-da-prática das tecnologias na área dos ATIS/ATMS. Servem de exemplos da maneira como tecnologias modernas podem dar suporte às aplicações dos programas de gerenciamento avançado de viagens. Alguns desses projetos abrangem elementos característicos da múltipla infra-estrutura essencial, amplificando, com isso, a questão dos benefícios provenientes da integração dos sistemas:

- TravInfo;
- TransCal;
- Swift;

- Minnessota Guidestar Projects;
- Atlanta OPTEST;
- Houston Intelligent Transportation Systems (HITS), incluindo o Houston Transportation and Emergency Management Center;
- Montgomery County Traffic Management Center, Montgomery County, Maryland.

#### 4.5.4. Sistema de Controle de Semáforo

##### 4.5.4.1. Descrição

O atual estado-da-arte dos sistemas de controle de semáforo mostra a capacidade desses sistemas de, dinamicamente, modificarem os tempos de sinalização em reação às variações da demanda do tráfego e coordenar as operações entre semáforos adjacentes, maximizando o desempenho da rede rodoviária. A coordenação de semáforos adjacentes permite aos controladores de tráfego o estabelecimento da "onda verde", na qual os veículos se movem, em faixas selecionadas da rede, com um baixo índice de atrasos e, também, a adaptação dos semáforos aos picos de fluxo do tráfego, durante o dia. A capacidade de ajustar os tempos de sinalização em função do tráfego abrange sistemas computadorizados, nos quais a arquitetura de *hardware/software* é projetada no sentido da melhoria do desempenho, possibilitando a instalação de novos produtos a custos relativamente baixos.

Para que sejam eficientes, os sistemas de controle de semáforo requerem um momentâneo retrato do carregamento do tráfego e da situação da rede. Essas informações consistem em dados, em tempo-real, de sensores do tráfego (*loops* magnéticos, vídeo-câmeras etc.), de comunicações com os operadores do trânsito e com a polícia rodoviária, entre outros. Informações, como o histórico do tráfego local, também são importantes para a definição de estratégias de controle de semáforo.

As várias jurisdições devem ser capazes de, eletronicamente, compartilharem as informações do fluxo de tráfego com os sistemas de controle de semáforo.

#### 4.5.4.2. Benefícios

Os fluxos de tráfego são suavizados, as ações em casos de emergência são imediatas e a eficiência da rede melhora substancialmente com as técnicas de coordenação dos semáforos. A adaptação dos sinais, como o aumento do ciclo de verde, também pode ser utilizada para a otimização do desempenho do trânsito, em situações específicas.

#### 4.5.4.3. Exemplos de Projetos e Atividades Relacionadas aos Sistemas de Controle de Semáforo

- FASTRAC - Oakland County, MI;
- Houston Transportation & Emergency Management Center (TEMC);
- Santa Monica, CA;
- Montgomery County, MD.

#### 4.5.5. Sistema de Gerenciamento de Rodovias

##### 4.5.5.1. Descrição

Os Sistemas de Gerenciamento de Rodovias têm como principal característica o desempenho das seguintes funções:

- monitorar o tráfego e as condições ambientais do sistema rodoviário;
- identificar os impedimentos de fluxo do tráfego, recorrentes ou não-recorrentes;
- implementar as diversas estratégias de gerenciamento e controle (como *ramp metering*, controle de pista e desvios do tráfego);
- prover informações precisas aos viajantes, por intermédio de métodos fundamentados de difusão, como sinais de mensagens variáveis e rádio-consulta rodoviária.

Os métodos de monitoramento de condições das rodovias compreendem detectores magnéticos (para determinação de velocidade), vídeo-câmeras (com

Com a cobertura dos incidentes, por meio de vídeo-câmeras, existe, por parte dos responsáveis pelo gerenciamento das rodovias, a possibilidade da avaliação precisa do local, da causa e da gravidade dos incidentes, direcionando os recursos disponíveis apropriados, na tentativa de uma solução imediata do problema.

Como parte integrante dos Sistemas de Gerenciamento de Rodovias, os Centros de Gerenciamento de cada localidade são responsáveis pela disseminação e compartilhamento das informações, junto às demais jurisdições. Exemplos de gerenciamento integrado e cooperativo envolvem a análise e a atualização regular das estratégias de controle e rápida resposta aos incidentes, através da troca coordenada de experiências entre todos os centros de controle.

#### **4.5.5.2. Benefícios**

Com a implantação dos sistemas de gerenciamento de rodovias, associados aos sistemas de vigilância, os operadores são capazes de detectar incidentes provocadores de congestionamentos e acidentes e, prontamente, resolvê-los. Durante os períodos de congestionamentos o uso do controle de acesso *ramp metering* reduz o carregamento de tráfego da rodovia, produzindo a uniformização do fluxo e, conseqüentemente, a diminuição dos riscos de acidente e das emissões de poluentes.

#### **4.5.5.3. Exemplos de Projetos e Atividades Relacionadas aos Sistemas de Gerenciamento de Rodovias**

- San Antonio, Texas, Advanced Traffic Management System (Transguide);
- Minneapolis, MN;
- Houston Intelligent Transportation System (HITS) Programs, Houston, Texas;
- Maryland State Highway Authority - CHART Program.

## 4.5.6. Sistema de Gerenciamento do Trânsito

### 4.5.6.1. Descrição

Os sistemas de gerenciamento do trânsito de áreas metropolitanas envolvem componentes de *hardware/software* instalados nos ônibus e centros de despacho, sistemas de rádio-comunicação e equipamentos auxiliares, que facilitam a operação e manutenção do trânsito. Tecnologias avançadas, como localização automática de veículos, GPS, bilhetagem eletrônica, sistemas de diagnóstico de veículos, sistemas de informações aos motoristas, sistemas de informações geográficas, entre outras, são utilizadas para a determinação de horários e roteiros das viagens por transporte público.

Sistemas avançados de localização de veículos informam, com precisão, a atual posição dos ônibus, que pode ser comparada com sua posição pré-programada e, na ocorrência de irregularidades, de acidentes ou de veículos com mau funcionamento pode, com a adição de novos veículos à linha ou através de socorro imediato, solucionar o problema.

Em conjunto com os MTIS, os sistemas podem fornecer informações valiosas, em tempo-real, aos usuários do transporte público, à polícia rodoviária e aos gerenciadores do trânsito. Como já visto, essas informações são propagadas de diversas maneiras e em locais determinados.

### 4.5.6.2. Benefícios

Os principais benefícios, com a implantação de sistemas de gerenciamento de trânsito, derivam da adequação das programações de viagens às condições momentâneas do tráfego. Esse planejamento implica grande economia de tempo aos viajantes, proporcionando a determinação de rotas e horários alternativos, em função de informações a respeito do sistema rodoviário.

As empresas de transportes e os órgãos gestores também são beneficiados pois, com a programação e o cumprimento dos horários pré-fixados, tem-se o aumento da confiança dos usuários no sistema de transportes e a produção de um serviço de qualidade.

Quanto ao sistema de trânsito, como um todo, os benefícios provêm, principalmente, da capacidade de reações rápidas aos incidentes, por parte dos gerenciadores do sistema.

A possibilidade do controle preciso do número de usuários dos transportes públicos, através da contagem eletrônica, possibilita um melhor planejamento das viagens, em função da demanda, e um maior aproveitamento dos recursos do sistema.

Finalmente, com o aumento da eficiência dos serviços públicos de transporte, tem-se, proporcionalmente, aumentada a atratividade dos usuários de veículos particulares, diminuindo com isso o número de veículos nas rodovias.

#### **4.5.6.3. Exemplos de Projetos e Atividades Relacionadas aos Sistemas de Gerenciamento do Trânsito**

- Potomac and Rappahanock Transportation Commission-OmniRide Smart Flexroute Integrated Real-time Enhancement System (SaFIRES);
- Projetos do Denver, CO, Regional Transportation District (RTD).

#### **4.5.7. Programa de Gerenciamento de Incidentes**

##### **4.5.7.1. Descrição**

Os programas de gerenciamento de incidentes têm como principal objetivo a identificação e reação pronta aos diversos incidentes que ocorrem nas rodovias, com equipamento e pessoal específico para essa função. O procedimento resulta no socorro imediato às vítimas de acidentes, na diminuição dos congestionamentos e, conseqüentemente, nas frustrações causadas aos motoristas com o tempo perdido no trânsito. Para que o processo tenha completo êxito, são necessários dados do tráfego, em tempo-real, provenientes dos sistemas de vigilância rodoviária e dos órgãos responsáveis pelo gerenciamento do tráfego.

Os veículos de resgate, de socorro e os envolvidos na resolução de incidentes são equipados com sistemas de localização automática, possibilitando, deste modo, a determinação dos que serão utilizados em situações específicas.

A utilização de um sistema de mapeamento digital comum, pelas diversas organizações responsáveis pelo tráfego, permite uma melhor coordenação e troca de informações, facilitando a atuação das equipes de gerenciamento de incidentes.

Diversos órgãos e jurisdições, responsáveis pelas operações e fiscalização do tráfego, trabalham em conjunto no desenvolvimento de políticas e convênios, que determinam as responsabilidades intrínsecas no curso do gerenciamento de incidentes. Essas atividades envolvem a detecção, a verificação, a rápida resposta, a desobstrução, o controle e a comunicação dos incidentes. As operações multi-jurisdicionais asseguram uma cooperação, coordenação e comunicações rotineiras entre as agências diretamente envolvidas com o controle do tráfego, e outras, como o corpo de bombeiros, os serviços de emergência médico-hospitalar e a polícia rodoviária, determinando a melhor estratégia de ação, em função dos recursos humanos e equipamentos disponíveis.

#### **4.5.7.2. Benefícios**

Os benefícios são visíveis no que diz respeito à segurança e eficiência das viagens rodoviárias. Quanto mais rápido forem resolvidos os incidentes, menores serão os prejuízos, tanto em relação ao imediato socorro a acidentes, como também à prevenção dos congestionamentos e de suas conseqüências.

Adicionalmente, a coordenação entre as diversas agências e operadores auxilia na rápida solução dos incidentes, como já foi citado anteriormente. Essa integração propicia um planejamento e ações coordenadas, entre todos os elementos e sistemas de infra-estrutura acima mencionados, caracterizando e salientando a principal função dos sistemas inteligentes de transportes.

#### **4.5.7.3. Exemplos de Projetos e Atividades Relacionadas aos Sistemas de Gerenciamento de Incidentes**

- Programa Maryland CHART;
- Programa Minnesota Highway Helper;
- Houston Transportation and Emergency Management Center (TEMC).

## **4.5.8. ETC - Sistemas de Cobrança Eletrônica de Pedágio**

### **4.5.8.1. Introdução**

Várias rodovias existentes, projetadas ou em fase de construção, atualmente estão sendo implementadas com tecnologias de cobrança eletrônica de pedágio.

A automação do sistema de pedágio visa à redução do congestionamento, nas praças de cobrança. Essa tecnologia também possibilita a implementação de programas de gerenciamento do tráfego.

Como resultado, além da redução dos congestionamentos, esses sistemas têm o potencial de melhorar a eficiência energética, a qualidade do ar e aumentar a produtividade econômica - a um custo significativamente baixo, quando comparado ao de construção de novas rodovias ou expansão das praças de cobrança de pedágio existentes.

### **4.5.8.2. Descrição**

Os sistemas de cobrança eletrônica de pedágio se utilizam de diversas tecnologias que permitem o processo automatizado de cobrança, evitando com isso a necessidade da parada dos veículos, nos boxes de cobrança de pedágio.

Os equipamentos que integram o sistema podem ser implantados em boxes já existentes, evitando custos adicionais de construção. O processo de cobrança é efetuado através de equipamentos especiais, instalados em cavaletes suspensos e/ou no próprio pavimento, enquanto o veículo se desloca na velocidade conveniente, para a rodovia em questão.

Para que exista uma implementação que funcione de forma eficiente, confiável e atrativa ao usuário, os sistemas necessitam de um desempenho ótimo, o que requer a instalação nas rodovias dos seguintes componentes:

- Sistema de identificação automática de veículos (AVI);
- Sistema de classificação automática de veículos (AVC);
- Sistema de processamento de imagens.

#### 4.5.8.3. Principais Características do Sistema

- O AVI utiliza um dispositivo de rádio-freqüência instalado no veículo, que permite que este seja identificado pelos equipamentos de cobrança de pedágio.
- O AVC dispõe de vários sensores instalados na rodovia, que identificam o tipo (classe) do veículo passante, classificando-o de acordo com a taxa de pedágio apropriada.
- O sistema de imagens captura imagens das placas dos veículos que não estejam habilitados a operar no sistema eletrônico de cobrança e, posteriormente, o proprietário recebe a devida notificação com relação à taxa de pedágio.
- Os sistemas acima mencionados devem estar vinculados a um equipamento, que é geralmente conhecido por controlador de pista.
- O controlador de pista é um computador que recebe os dados fornecidos pelos sistemas de identificação, classificação e de processamento de imagens. Usualmente existe um controlador por pista da rodovia, o qual coordena as funções dos demais equipamentos instalados. Esse equipamento também é responsável, ainda, pelo controle, através de um banco de dados dos veículos que estão habilitados, ou não, a utilizarem o sistema de cobrança eletrônica de pedágio. Essas informações são fornecidas ao controlador pelos equipamentos do sistema de identificação.
- Além dos equipamentos "de pista", usualmente a praça de cobrança possui um computador hospedeiro, que coleta as informações transitórias oriundas dos controladores de pista, e está conectado a uma praça central de controle, que coleta informações de todas as praças de cobrança de uma determinada região.
- Existe um centro de prestação de serviços ao usuário, que é responsável pela habilitação dos veículos, gerenciamento da contabilidade de pedágios, fornecimento das etiquetas de identificação dos veículos, processamento final das imagens e esclarecimentos a respeito do processo de cobrança. O centro de serviços recebe informações dos equipamentos de pista e transmite informações próprias, sobre a habilitação dos veículos, à praça central de controle.

#### **4.5.8.4. Benefícios**

- O sistema eletrônico de pedágio diminui os tempos de deslocamento, facilita a operação de cobrança, melhora a prestação de serviços e, conseqüentemente, aumenta a satisfação do usuário.
- A cobrança é feita de maneira bastante flexível. Por exemplo, usuários que possuam cartão de crédito podem optar pelo débito automático, e todos os usuários recebem mensalmente extratos detalhados com informações sobre taxa, local, data e hora das cobranças.
- As empresas de transporte são beneficiadas com a forma direta, sem intermediários (motoristas, operadores das praças etc.), do processo de cobrança. Evitando possíveis desperdícios operacionais (notas falsas, sobre-taxas etc.) a empresa, em função do número de viagens, pode somar uma substancial economia.
- Os responsáveis pela cobrança também são beneficiados pois, com o sistema eletrônico, diminui-se o número de boxes e de operadores.
- Os benefícios sociais incluem, entre outros, a redução de veículos ociosos (parados nas praças de pedágio) e o aumento da qualidade do ar, com a redução da emissão de gases tóxicos.

#### **4.5.8.5. Exemplos de Projetos e Atividades Relacionadas aos Sistemas Eletrônicos de Cobrança de Pedágio**

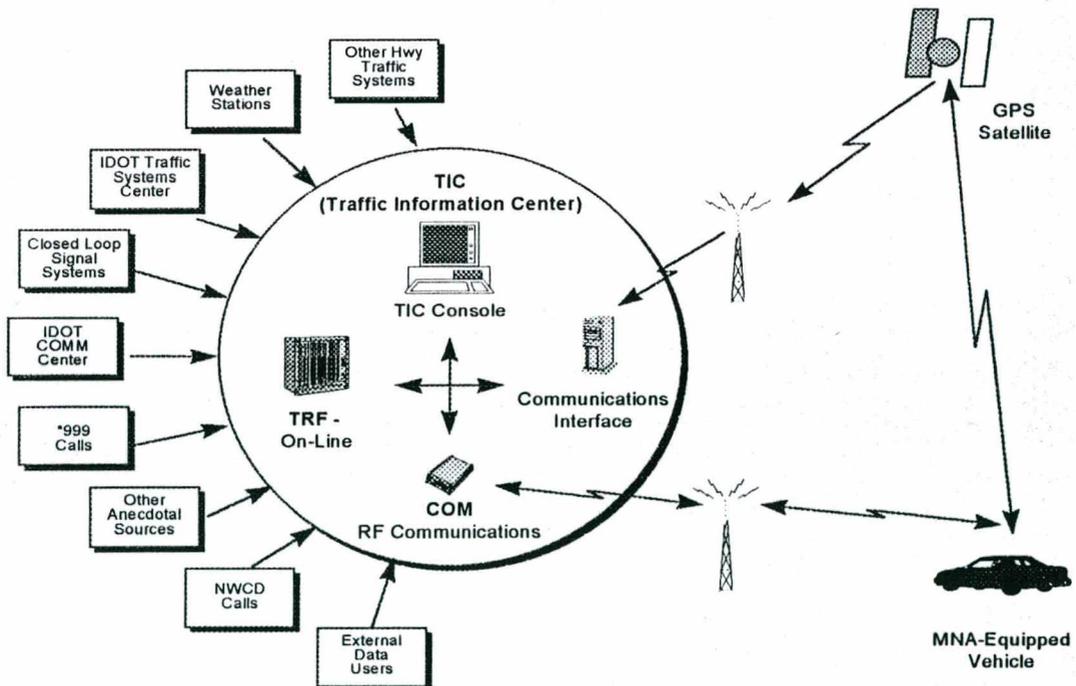
- Illinois DOT ETC System;
- New York State Thruway Authority;
- Houston Toll System;
- Oklahoma Toll System.

## 4.6. EXEMPLOS DE PROJETOS ATM - USDOT / FHWA

### 4.6.1. ADVANCE - *Advanced Driver and Vehicle Advisory Navigation Concept*

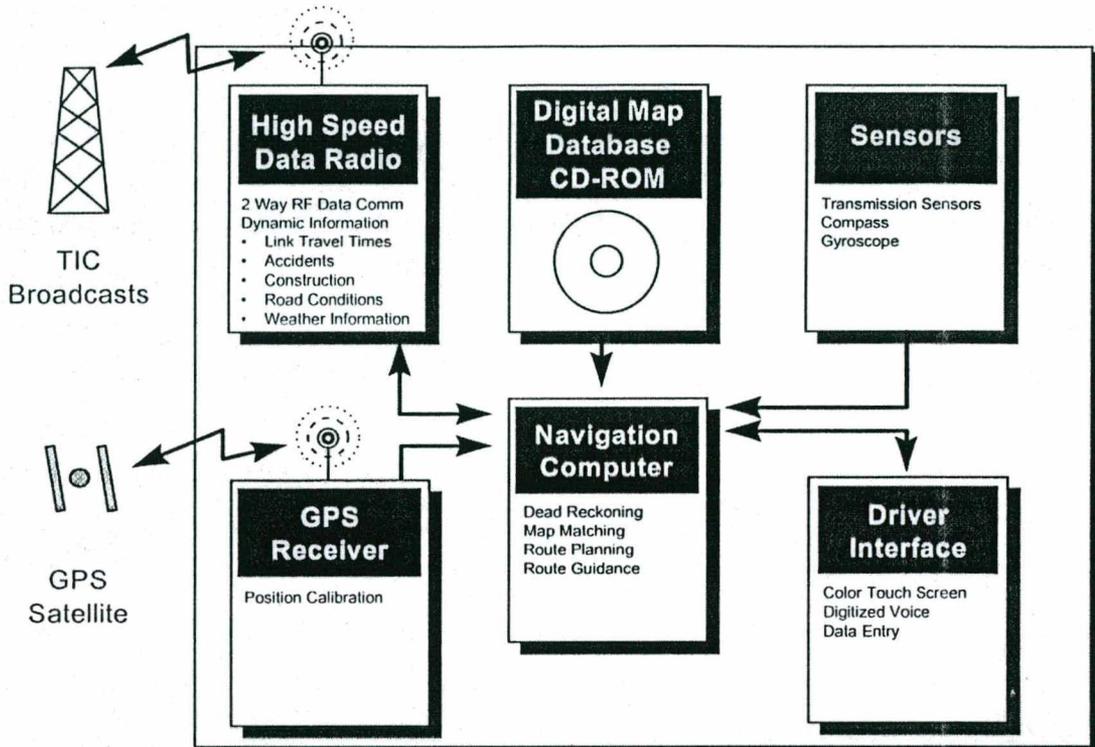
#### 4.6.1.1. Descrição

- O sistema ADVANCE baseia-se em dados do tráfego, em tempo real, para fornecer (rapidamente) aos viajantes informações sobre rotas e destinos, através de interfaces gráficas instaladas nos veículos.
- O Centro de Informações sobre o Tráfego (TIC), com a utilização de *softwares* apropriados, seleciona, processa e transmite os dados pertinentes aos veículos equipados com os MNAs (*Mobile Navigational Assistants*);
- O sistema de localização de veículos MNA utiliza tecnologia GPS e bases de dados, com os mapas da rede rodoviária, em CD-ROM;
- A comunicação entre os veículos e o TIC é mantida via *modems* de rádio-freqüência.



Fonte: <http://www.tfhrc.gov/its/optests/atmsatis.htm> - ATMS & ATIS Projects, 1998.

Figura 4.2 - Esquema de funcionamento do TIC



Fonte: <http://www.tfhr.gov/its/optests/atmsatis.htm> - ATMS & ATIS Projects, 1998.

Figura 4.3 - Arquitetura do MNA

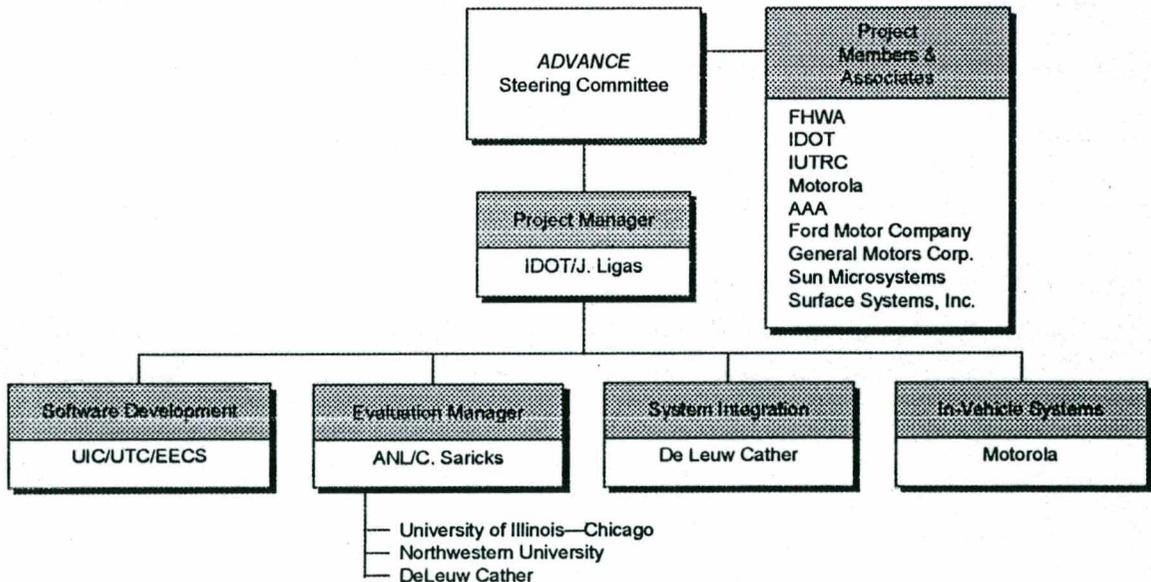
#### 4.6.1.2. Subsistemas

Tabela 4.1 - ADVANCE-Função dos subsistemas

SUBSISTEMA	FUNÇÃO
<b>COM (Comunicações)</b>	
GPS ( <i>Global Positioning System</i> )	Localização da latitude e longitude do veículo em relação com um sistema de projeção pré-determinado.
HSDR ( <i>High Speed Data Radio</i> )	Transmissão da localização do veículo via <i>modems</i> de rádio-frequência.
TLL ( <i>Telephone Land Lines</i> )	Informações (por detectores <i>loop</i> ) das velocidades e congestionamentos, e de incidentes, diretamente do NWCD ( <i>Northwest Central Dispatch</i> ).
SUBSISTEMA	FUNÇÃO

SUBSISTEMA	FUNÇÃO
<b>TIC (Central de Informações do Tráfego)</b>	
TIC ( <i>Traffic Information Center</i> )	Processamento integrado e automático e interpretação das informações obtidas. Transmissão dos dados para os veículos equipados.
<b>TRF (Funções Relativas ao Tráfego)</b>	
TS ( <i>Traffic Software</i> )	Algoritmos integrados para seleção e fusão dos dados, detecção de incidentes, conversão dos detectores, predição e cálculos do tempo de viagem.
<b>MNA (Assistente Móvel de Navegação)</b>	
MD ( <i>Map Database</i> )	Informações via CD-ROM.
DI ( <i>Driver Interface</i> )	Informações áudio-visuais, aos motoristas, via <i>display</i> .
NC ( <i>Navigation Computer</i> )	Processamento das informações do TIC e GPS para o cálculo das rotas.

#### 4.6.1.3. Organização do Projeto



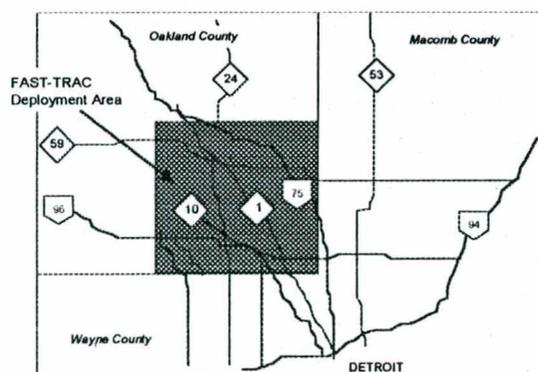
Fonte: <http://www.tfhrc.gov/its/optests/atmsatis.htm> - ATMS & ATIS Projects, 1998.

**Figura 4.4 - Estrutura Organizacional do ADVANCE**

#### 4.6.2. FAST-TRAC - *Michigan Faster and Safer Travel Through Traffic Routing and Advanced Controls*

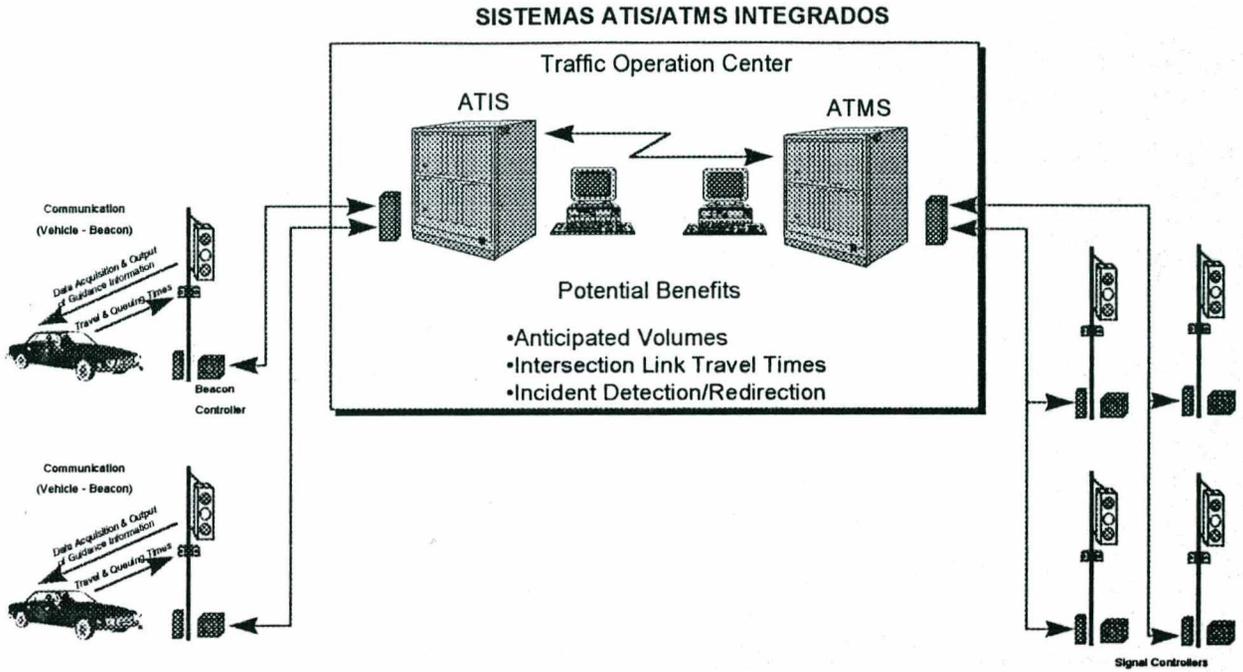
##### 4.6.2.1. Descrição

- O programa Fast-Trac foi concebido como um projeto de testes e implementação dos ATMS e ATIS, combinados.
- O Fast-Trac inclui diversos sistemas integrados, responsáveis pelo controle do tráfego, em tempo real:
  - *Sydney Coordinated Adaptive Control System (SCATS)*
    - Controla o tráfego através do ajuste dos tempos de sinal, correspondentes às condições do tráfego.
  - *Autofahrer Leit und Informations (ALI-SCOUT)*
    - Sistema de roteamento, a bordo dos veículos.
  - *Autoscope* - Sistemas processadores de imagem (vídeo/câmera)
    - Sistemas responsáveis pela contagem do tráfego e transmissão de informações aos SCATS.
- Implementação:
  - SCATS em 471 intersecções
  - ALI-SCOUT em 1.000 veículos
  - Expansão do Centro de Operações de Tráfego
  - Teste operacional e avaliação do sistema integrado.



Fonte: <http://www.tfrc.gov/its/optests/atmsatis.htm> - ATMS & ATIS Projects, 1998.

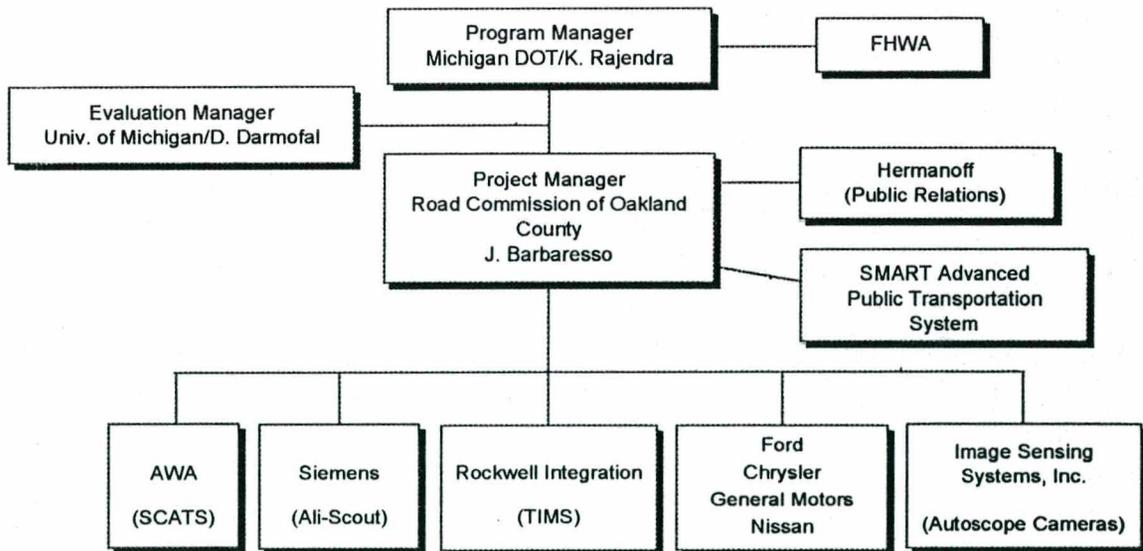
**Figura 4.5 - Área de cobertura do projeto Fast-Trac**



Fonte: <http://www.tfhr.gov/its/optests/atmsatis.htm> - ATMS & ATIS Projects, 1998.

**Figura 4.6 - Fast-Trac-elementos e interfaces do sistema**

**4.6.2.2. Organização do Projeto**



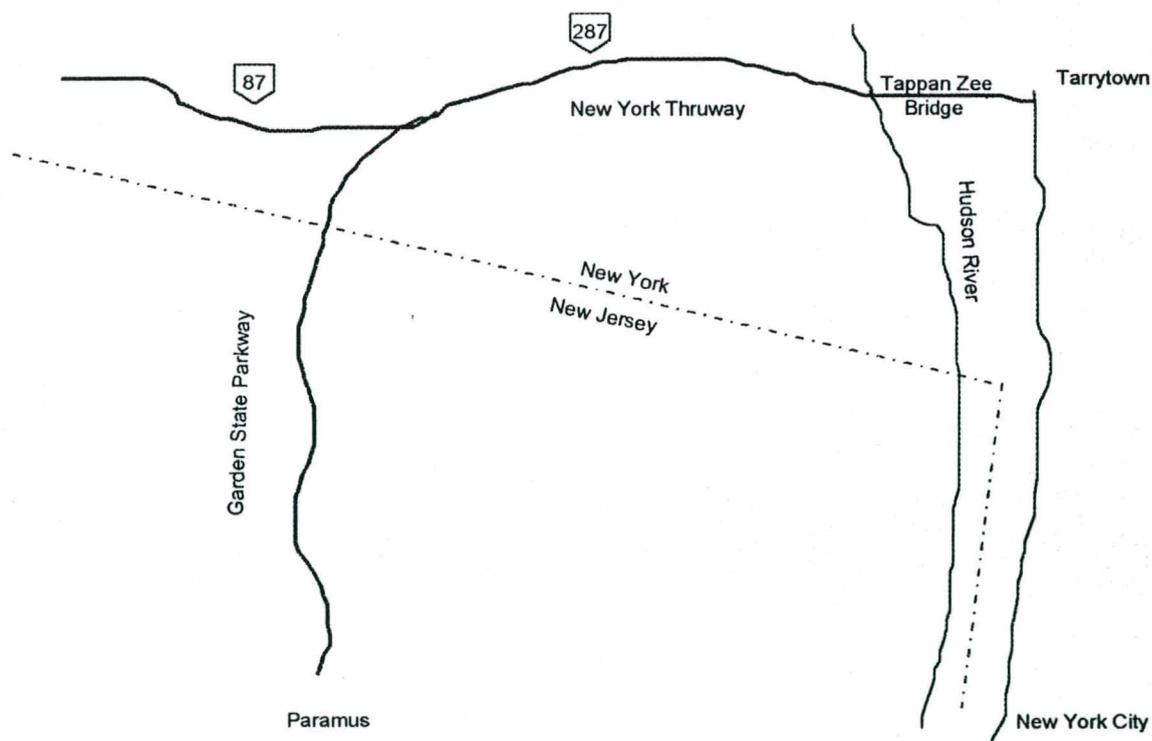
Fonte: <http://www.tfhr.gov/its/optests/atmsatis.htm> - ATMS & ATIS Projects, 1998.

**Figura 4.7 - Estrutura Organizacional do Fast-Trac**

### 4.6.3. TRANSMIT - *Transcom's System for Managing Incidents and Traffic*

#### 4.6.3.1. Descrição

- O TRANSMIT envolve testes operacionais de viabilidade da utilização dos *tags* (utilizados nas praças de pedágio) na vigilância do tráfego e detecção de incidentes;
- Os *tags* (já instalados para a cobrança eletrônica de pedágio) são detectados por unidades leitoras, instaladas nas rodovias;
- O tempo de percurso entre sucessivas leituras é utilizado para se computar a velocidade do fluxo de tráfego;
- Os incidentes são detectados com a utilização de um algoritmo *speed-based*, existente no Centro Computacional de Controle (TRANSCOM).



Fonte: <http://www.tfhrc.gov/its/optests/atmsatis.htm> - ATMS & ATIS Projects, 1998.

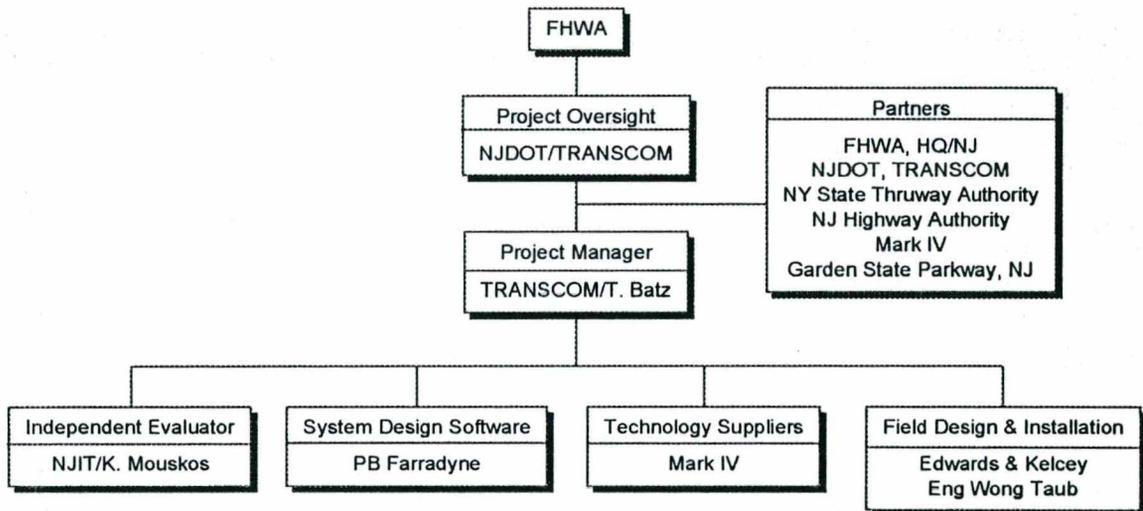
**Figura 4.8 - Praças de pedágio envolvidas no projeto TRANSMIT**

#### 4.6.3.2. Serviços

Tabela 4.2 - Serviços oferecidos pelo TRANSMIT

SISTEMAS	SERVIÇOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Tags eletrônicos</li> <li>♦ Leitores de pista</li> <li>♦ Comunicações de amplo espectro</li> <li>♦ Comunicações telefônicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Vigilância do tráfego</li> <li>♦ Cálculos de tempos de percurso</li> <li>♦ Detecção de incidentes</li> </ul>

#### 4.6.3.3. Organização do Projeto



Fonte: <http://www.tfhrcc.gov/its/optests/atmsatis.htm> - ATMS & ATIS Projects, 1998.

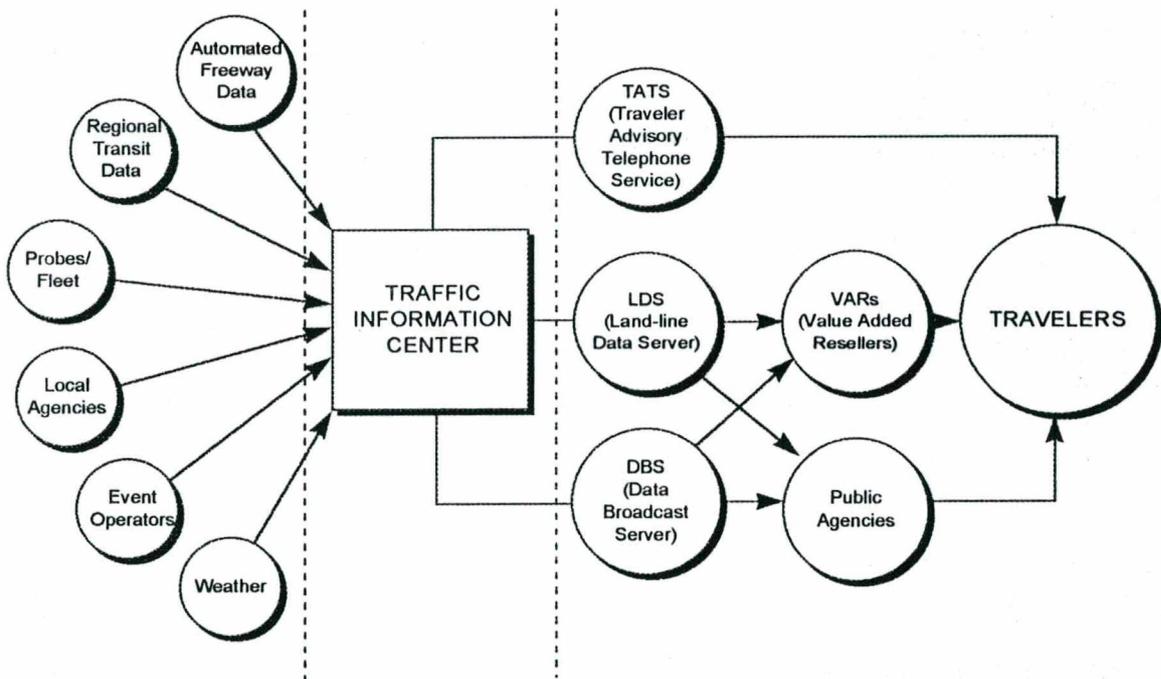
Figura 4.9 - Estrutura Organizacional do TRANSMIT

#### 4.6.4. TRAVINFO - Bay Area Intermodal Traveler Information System

##### 4.6.4.1. Descrição

- O sistema TRAVINFO utiliza dados dos detectores das rodovias, do trânsito da região, do clima, entre outros, para fornecer informações aos viajantes;

- O Centro de Informações do Tráfego (TIC) seleciona, processa e formata os dados pertinentes para que sejam disseminados;
- O TRAVINFO é capaz de fornecer informações diretamente aos viajantes, utilizando um sistema de telefonia chamado *Traveler Advisory Telephone System (TATS)*;
- Com a utilização de tecnologias LDS (*Land-line Data Service*) e DBS (*FM Wireless Data Broadcast System*) informações digitalizadas são fornecidas aos viajantes.



Fonte: <http://www.tfhrc.gov/its/optests/atmsatis.htm> - ATMS & ATIS Projects, 1998.

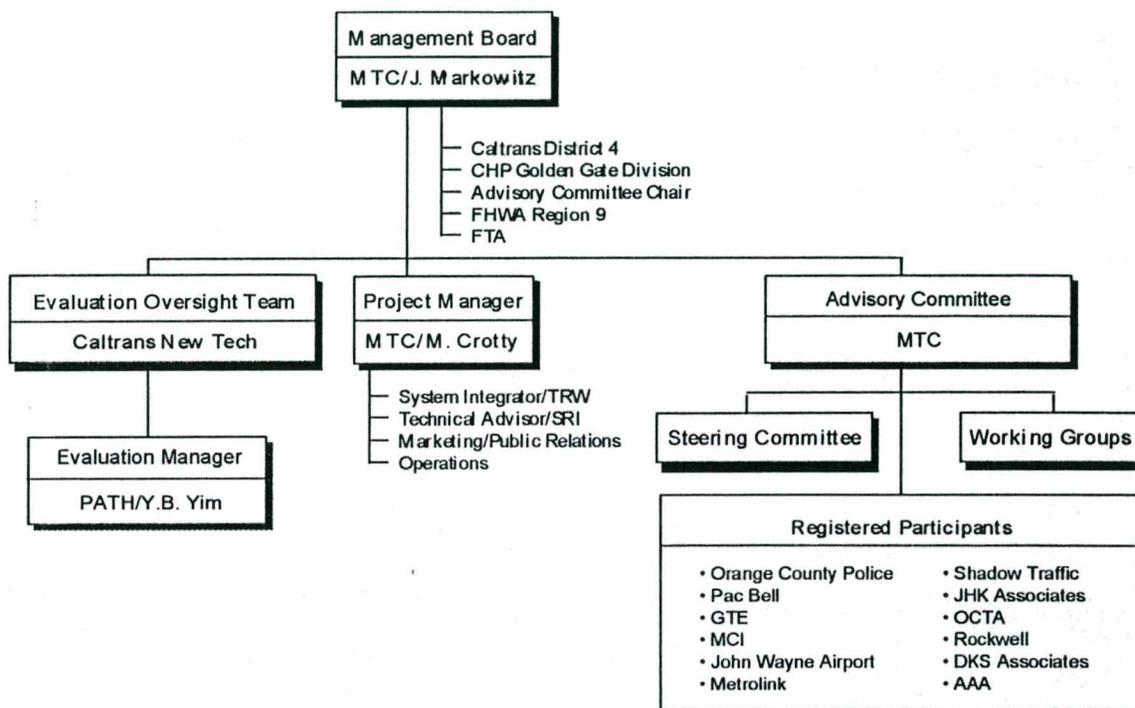
**Figura 4.10 - Arquitetura do projeto TRAVINFO**

## 4.6.4.2. Subsistemas

Tabela 4.3 - TRAVINFO-Função dos subsistemas

SUBSISTEMA	FUNÇÃO
<b>AQUISIÇÃO DE DADOS</b>	
AFD (Automated Freeway Data)	Dados de 250 detectores <i>loop</i> .
RT (Regional Transit)	Base de dados regional, com informações sobre atrasos, incidentes, rotas etc.
PV (Probe Vehicles)	Informações sobre velocidades, congestionamentos e incidentes, fornecidas pela <i>California State Automobile Association</i> (CSAA) e Caltrans.
LA (Local Agencies)	Informações sobre congestionamentos e incidentes, fornecidas pela <i>California Highway Patrol</i> (CHP).
EOW (Event Operators Weather)	Informações sobre congestionamentos e incidentes, fornecidas pelo Serviço Meteorológico Nacional.
<b>PROCESSAMENTO DOS DADOS</b>	
TIC (Traffic Information System)	Processamento integrado e automático e interpretação das informações. Transmissão dos dados para as redes rodoviárias.
<b>DISSEMINAÇÃO DOS DADOS</b>	
TATS (Traveler Advisory Telephone System)	Acesso público, via telefone, aos dados do tráfego.
LDS (Land-line Data Service)	Dados digitalizados fornecidos por agências públicas e privadas.
DBS (Data Broadcast System)	Dados digitalizados fornecidos por agências públicas e privadas.

#### 4.6.4.3. Organização do Projeto



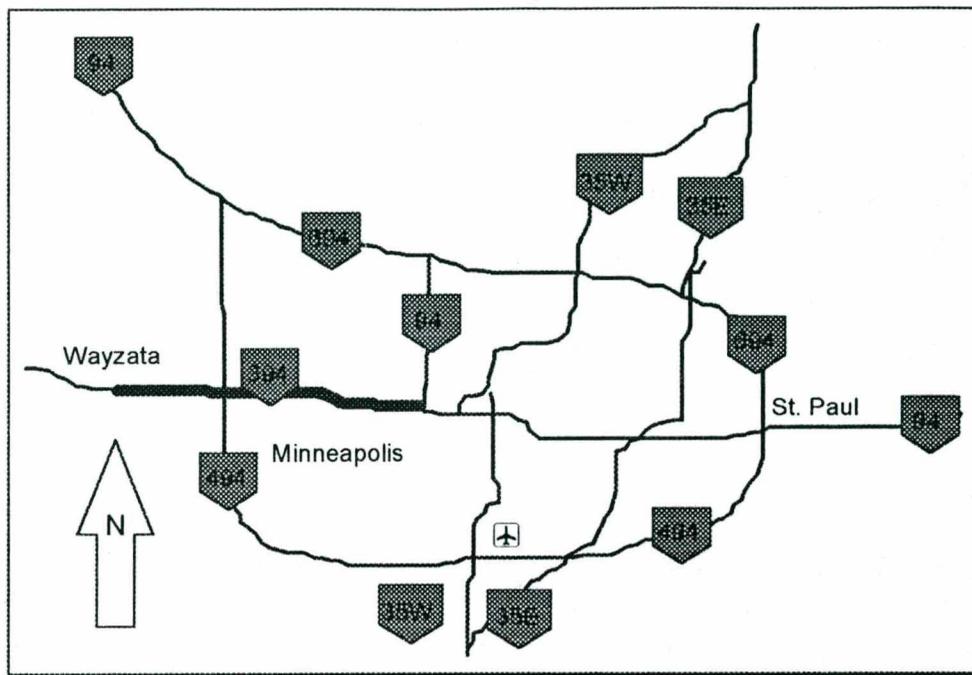
Fonte: <http://www.tfhrc.gov/its/optests/atmsatis.htm> - ATMS & ATIS Projects, 1998.

**Figura 4.11 - Estrutura Organizacional do TRAVINFO**

#### 4.6.5. TRAVLINK

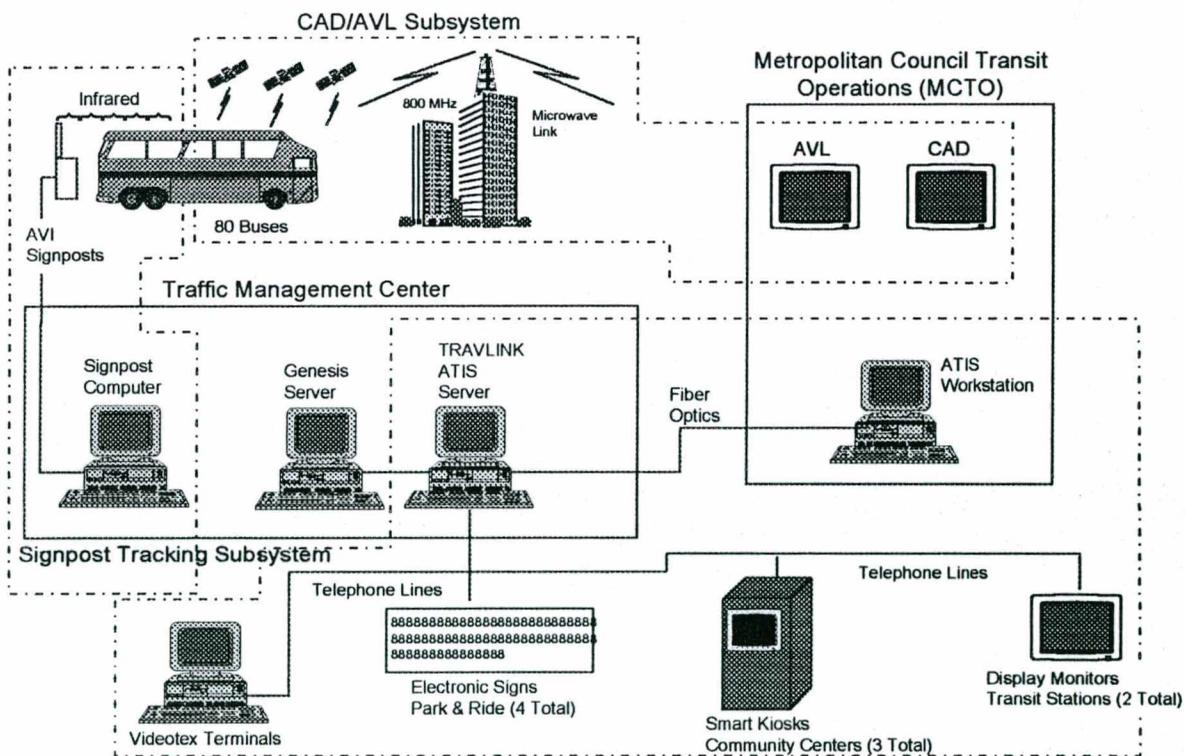
##### 4.6.5.1. Descrição

- A proposta do projeto TRAVLINK de testes operacionais consiste na melhoria do gerenciamento do trânsito, através da aquisição e distribuição de informações precisas e oportunas;
- Os objetivos do projeto, através dos testes operacionais, são os de avaliar:
  - Os sistemas computadorizados de comunicação;
  - Os sistemas de localização automática de veículos;
  - Os sistemas de transportes coletivos e a distribuição de informações do trânsito e do tráfego em tempo real, através dos ATIS.



Fonte: <http://www.tfhr.gov/its/optests/atmsatis.htm> - ATMS & ATIS Projects, 1998.

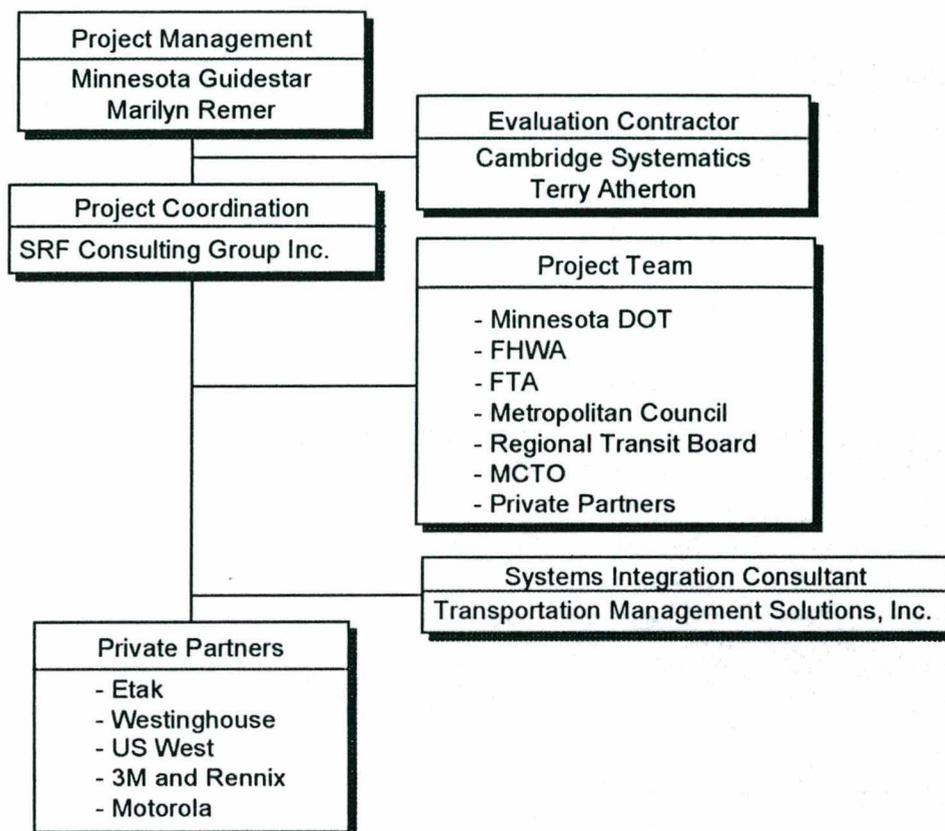
**Figura 4.12 - Área de cobertura do projeto TRAVLINK**



Fonte: <http://www.tfhr.gov/its/optests/atmsatis.htm> - ATMS & ATIS Projects, 1998.

**Figura 4.13 - TRAVLINK-elementos e interfaces do sistema**

#### 4.6.5.2. Organização do Projeto



Fonte: <http://www.tfhrc.gov/its/optests/atmsatis.htm> - ATMS & ATIS Projects, 1998.

**Figura 4.14 - Estrutura Organizacional do TRAVLINK**

### 4.7. ERTICO - PROGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DOS ITS (EUROPA)

#### 4.7.1. Descrição

ERTICO consiste em uma organização não-comercial criada em 1991 sob a forma de parceria entre os setores público e privado, com a função de coordenar as atividades relacionadas aos ITS em território europeu. Os projetos são financiados por subscrições anuais, por parte dos acionistas, e outros fundos, incluindo a *European Commission* e a *EU Infrastructure*.

#### 4.7.2. Objetivos

Os principais objetivos da organização, combinando as tecnologias de informação, de comunicação e dos transportes, compreendem:

- a redução dos congestionamentos rodoviários;
- o aumento da segurança dos transportes;
- o fornecimento de informações aos viajantes, melhorando a acessibilidade e o conforto;
- o aumento da eficiência das operações comerciais e do transporte de carga;
- a redução dos impactos ambientais negativos;
- o crescimento da economia europeia.

#### 4.7.3. Projetos

As atividades do ERTICO dividem-se, essencialmente, em duas categorias. As executadas pelos participantes (através da parceria) da organização, conduzidas por uma série de comitês e sub-comitês, e as relativas aos projetos, como:

- Os projetos **EDEN** e **ESCORTIS**, sustentados pela TEN-T (*Trans-European Network-Transport*), responsáveis pela troca de dados das redes rodoviárias europeias e pelos serviços de informações sobre o tráfego.
- O projeto **TELTEN 2**, sustentado pela DG VII (concessionária de Transportes), responsável pela implementação dos serviços de gerenciamento do tráfego nas rodovias europeias.
- Os projetos **CORD**, **CORDEX** e **CONVERGE**, sustentados pela DG XIII (concessionária de Telecomunicações, Mercado de Informações e Pesquisas), responsáveis pelo programa de transporte telemático.

## Comitês:

- **Comitê de Coordenação** - Criado em 1995, é composto por 32 organizações e pelos seguintes sub-comitês:
  - Visão Estratégica e Mercadológica dos ITS
  - GLR (*Geographical Location Referencing*)
  - Transporte Coletivo e Intermodalidade
  - Serviços Internet
  - ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*)
  - Projetos para a União Européia
  - Comunicação digital
  
- **Comitê Administrativo** - Supervisiona e gerencia a organização, no que se refere às finanças, à administração, às parcerias e à comunicação pública, apoiado pelos seguintes sub-comitês:
  - Formação de Parcerias
  - Promoção e Comunicação Pública

### 4.7.4. Arquitetura dos Sistemas

Os projetos CONVERGE e CORDEX são responsáveis pelo desenvolvimento de uma arquitetura prática para os sistemas, com base na coordenação, padronização e avaliação das atividades, técnicas e equipamentos relacionados com os sistemas.

### 4.7.5. Tecnologias

- Tecnologias de Radiodifusão
  - 1-Rádio e Televisão convencionais
  - 2-RDS (*Radio Data System*)
  - 3-TMC (*Traffic Message Channel*)
    - 3.1-MUSICAM
    - 3.2-Modulação OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

- Tecnologias de Telecomunicação
  - 1-Celular Móvel
    - 1.1-Comunicação Digital (GSM)
    - 1.2-Comunicações Analógicas
  - 2-Satélite
    - 2.1-GPS
    - 2.2-INMARSAT
    - 2.3-EUTELTRACS
  
- Sistemas de Mensagens Variáveis
  - 1-Fibra Ótica
  - 2-Flip-Disco Magnético
  - 3-LED (*Light Emitting Diode*)
  - 4-*Rotating Prism*
  - 5-*Lamp Matrix*
  
- Tecnologias de Monitoramento
  - 1-Circuito Fechado de Televisão (CCTV)
  - 2-Detecção de Veículos
    - 2.1-Detectores sob a superfície
    - 2.2-Detectores de Pista
  - 3-Detecção Meteorológica

#### **4.8. VERTIS - PROGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DOS ITS (JAPÃO)**

A VERTIS (*Vehicle, Road and Traffic Intelligency Society*) foi criada em janeiro de 1994, como resposta do Japão ao desenvolvimento dos Sistemas Inteligentes de Transportes da Europa e América do Norte. A Sociedade tem o respaldo do Departamento Nacional de Polícia, do Ministério da Indústria e Comércio, do Ministério dos Transportes, do Ministério da Propaganda e Telecomunicações, do Ministério de Obras, e de diversas corporações e organizações técnicas e acadêmicas. Seus principais objetivos envolvem a realização de extensas pesquisas e a implantação dos ITS. Podem-se destacar as seguintes atividades:

- Atividades essenciais relativas a pesquisas, desenvolvimento e implantação dos ITS.
- Intercâmbio com países e organizações com experiência anterior na implementação dos ITS.
- Desenvolvimento de planejamento e arquitetura nacional para os ITS.

**CAPÍTULO 5 - SISTEMAS AVANÇADOS DE CONTROLE DE  
VEÍCULOS**

## **5. AVCS - SISTEMAS AVANÇADOS DE CONTROLE DE VEÍCULOS**

### **5.1. INTRODUÇÃO**

Neste capítulo, abordam-se os Sistemas Avançados de Controle de Veículos (AVCS). Apresentam-se os conceitos de Sistema Avançado de Prevenção de Colisões (ACAS) e de Sistema Rodoviário Automatizado (AHS).

Mais adiante, faz-se uma análise da atual situação dos Sistemas Avançados de Controle de Veículos e, finalmente, apresenta-se um estudo de caso de Sistema Rodoviário Automatizado, denominado "Demo' 97".

### **5.2. CONCEITO**

Os AVCS envolvem tecnologias destinadas a intensificar o controle dos veículos, facilitando e aperfeiçoando a atuação dos motoristas e aumentando a segurança do trânsito. Esses sistemas podem ser desdobrados em duas áreas de atuação. A primeira envolve os Sistemas Avançados de Prevenção de Colisões (ACAS), e a segunda, e principal, o desenvolvimento de Sistemas Rodoviários Automatizados (AHS).

### **5.3. ACAS - SISTEMAS AVANÇADOS DE PREVENÇÃO DE COLISÕES**

Os ACAS aumentam a segurança nas rodovias melhorando e facilitando o desempenho dos motoristas, em contraste com os tradicionais sistemas de segurança dos veículos (cinto de segurança, air-bag etc.), desenvolvidos para diminuir os efeitos prejudiciais resultante de acidentes. A redução do número de acidentes resulta na diminuição de mortes no trânsito e nos custos sociais.

As tecnologias envolvidas com os ACAS incluem os sistemas anti-travamento de frenagem, o controle adaptável de cruzeiro (que desaceleram o veículo automaticamente, quando este se aproxima de um veículo mais lento), os sistemas automáticos de impedimento de colisões, os sistemas de advertência de mudança de

pista e os sistemas de controle de direção, utilizando-se de equipamentos especiais, a bordo do veículo, e de dispositivos instalados nas rodovias.

## **5.4. AHS - SISTEMAS RODOVIÁRIOS AUTOMATIZADOS**

### **5.4.1. Introdução**

O serviço oferecido pelo AHS visa melhorar substancialmente a segurança e a eficiência das viagens rodoviárias, aumentando significativamente o conforto do motorista e contribuindo com a redução da poluição atmosférica. A implementação do sistema requer veículos adequadamente equipados e rodovias especialmente projetadas, funcionando sob controle automatizado completo.

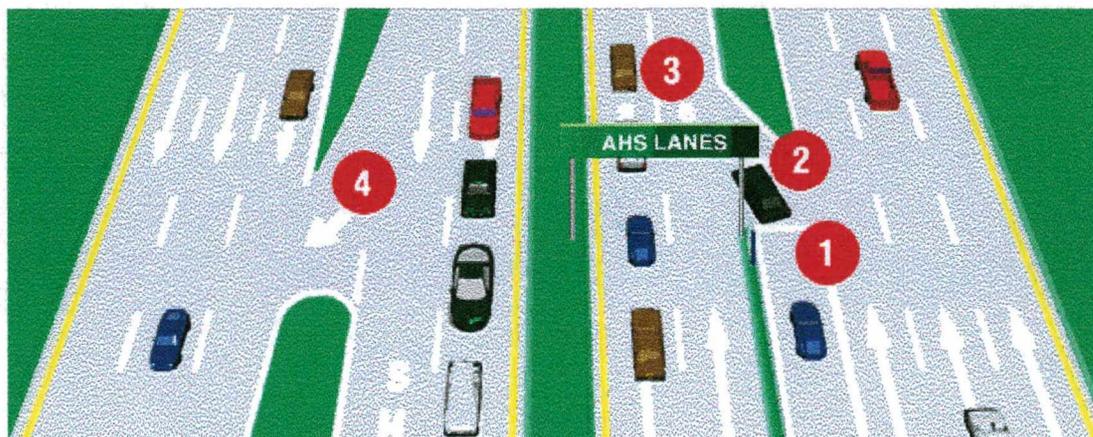
As recentes pesquisas em sistemas automatizados indicam os resultados previsíveis a serem alcançados pelo setor rodoviário, como a redução de acidentes de tráfego, dos congestionamentos, dos tempos de viagem, e a conservação dos recursos energéticos.

### **5.4.2. Conceito**

Um sistema rodoviário automatizado consiste em rodovias especialmente equipadas, nas quais os veículos são automaticamente controlados, ou seja, a direção, sistema de frenagem e de aceleração são controlados pelo sistema e não pelo motorista. As pistas e veículos do AHS necessitam de sensores, dispositivos de comunicação e computação especiais, que permitam o controle automático.

### **5.4.3. Funcionamento do Sistema**

Para trafegar em um AHS, o motorista deve conduzir o veículo (especialmente adaptado para o sistema) a um ponto de checagem completa dos equipamentos. Ao chegar ao destino programado, o sistema fornece um aviso ao motorista, recomendando-o ao retorno manual das operações e dirigindo o veículo à área de transição. Maiores detalhes do funcionamento do sistema serão destacados a seguir.



**Figura 5.1 - O Sistema Rodoviário Automatizado**

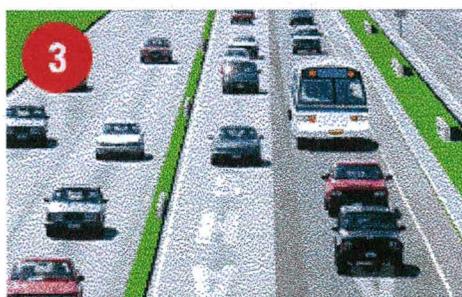
**1-Ponto de checagem do Sistema-Veículo:** Um *vehicle transponder* retransmite sinais aos sensores da rodovia, fornecendo-lhes os dados registrados nos sistemas computadorizados de bordo. Se todos os sistemas estiverem funcionando corretamente, o controle do veículo é assumido pelo sistema AHS.



**2-Sistema de navegação do veículo:** Registra o ponto de destino do motorista, a distância a ser percorrida, a quantidade de combustível a ser gasta, a velocidade de deslocamento e o tempo necessário para a viagem.



③-**Sistema Rodoviário Automatizado:** Conduz o veículo em uma pista especialmente adaptada, mantendo o controle seguro da velocidade e da distância entre os veículos e os desloca até o destino programado.



④-**Destino:** Ao aproximar-se do destino, um sinal é emitido, aconselhando o motorista a retomar o controle manual. O *transponder* do veículo envia sinais a outros veículos que, automaticamente, regulam a distância necessária para a sua saída do AHS.



#### 5.4.4. A Rodovia

- **Magnetos:**

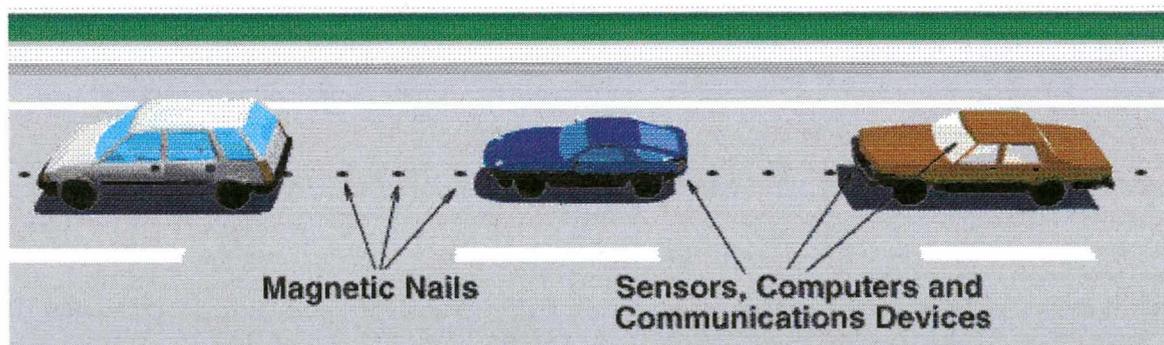
São instalados no centro das pistas da rodovia, possuindo uma polegada de diâmetro e quatro polegadas de comprimento, a uma distância de três pés entre eles. Esses dispositivos fornecem o *feedback* aos veículos, mantendo o controle lateral e longitudinal (velocidade e espaçamento).

- **Dispositivos sensores, computadorizados e de comunicação:**

Seis sensores magnetômetros, montados nos pára-choques dianteiros e traseiros de cada veículo e sensores de radar montados à frente, enviam dados ao computador de bordo. Esses equipamentos são responsáveis pela manutenção do veículo no centro de sua pista. Os computadores interpretam sinais recebidos de outros veículos e dos sensores à margem da rodovia e assumem o comando de funções do veículo, como direção, freio e aceleração.

- **Centros de Administração de Transportes:**

Monitoram o fluxo de tráfego por meio de câmeras e detectores indutivos instalados à margem da rodovia. Com a utilização de equipamentos eletrônicos, de fibra ótica, extensas redes de computador e sistemas de circuito-fechado de televisão, os Centros são capazes de armazenar informações sobre colisões, congestionamentos e notificações de emergência.



**Figura 5.2 - A Rodovia**

#### **5.4.5. Tecnologia**

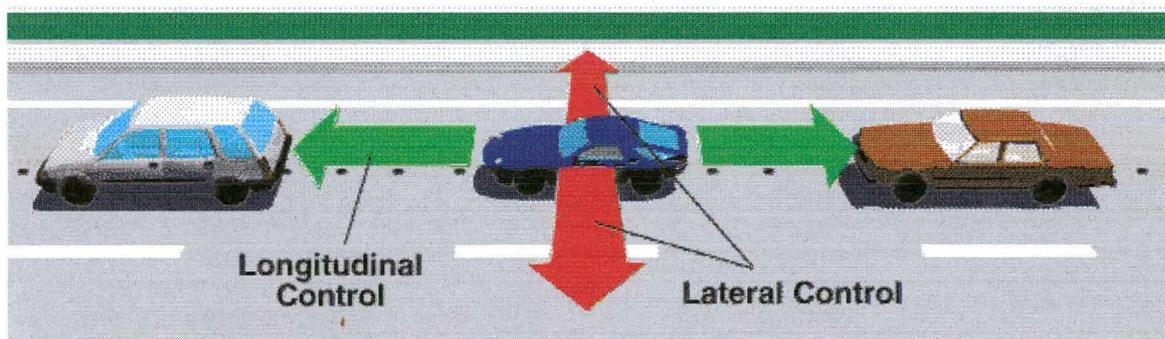
Veículos que trafegam em rodovias automatizadas são controlados lateral (direção) e longitudinalmente (velocidade e espaçamento):

- **Controle lateral:**

A direção automática mantém os veículos na pista e os sensores determinam o posicionamento relativo dos veículos em relação ao centro da pista. O computador emite comandos para os dispositivos de direção do veículo, controlando todo o processo.

- **Controle longitudinal:**

Ajusta o espaçamento frontal e traseiro do veículo. Um radar, instalado na frente do veículo, detecta o carro à frente e o computador de bordo controla a aceleração e frenagem, mantendo distâncias seguras.



**Figura 5.3 - Controle Lateral e Longitudinal**

Um cenário de "pelotão espaçado" é ajustado através de controles situados na parte dianteira e traseira dos veículos. Um radar montado à frente permite a comunicação e coordenação desse "pelotão".

Os sistemas utilizam rádios, com tecnologia celular, instalados na traseira dos veículos. Sensores de radar comunicam-se com o computador de bordo, que então emite comandos para os dispositivos de frenagem e aceleração.

Pesquisas indicam a possibilidade de implantação de um sistema rodoviário completamente automatizado, seguro e atrativo ao público, na segunda década do próximo século. Algumas tecnologias já desenvolvidas estão sendo aplicadas ou em fase de teste operacional. Essas tecnologias envolvem:

- Controle de cruzeiro adaptável;
- Impedimento de colisões;
- Desvio de obstáculos;
- Manutenção do veículo em sua pista.

#### **5.4.6. Benefícios Projetados ao Sistema Rodoviário**

##### **5.4.6.1. Econômicos**

- Reduz os custos de trânsito e de construção rodoviária;
- Favorece o retorno de investimento para os órgãos ou empresas do setor rodoviário, retorno esse baseado em análises custo-benefício para os AHS [25];
- Permite um fluxo de tráfego homogêneo e o desenvolvimento de velocidades de deslocamento maiores;
- Abre novos mercados e o desenvolvimento de novos produtos;
- Facilita o transporte intermodal e multimodal;
- Auxilia o processo *just-in-time* de distribuição de carga.

##### **5.4.6.2. Ambientais**

- Aumenta a economia de combustíveis e, conseqüentemente, redução do consumo de petróleo;
- Reduz a emissão de gases poluentes na atmosfera, melhorando a qualidade do ar;
- Reduz o congestionamento das rodovias;
- Fornece suporte ao desenvolvimento de projetos alternativos de propulsão de veículos;
- Reduz a necessidade de construção de novas rodovias.

##### **5.4.6.3. Sociais e Institucionais**

- Melhora a precisão dos tempos e a eficiência das viagens;
- Reduz o stress e a fadiga, próprios dos motoristas sujeitos a congestionamentos e a viagens longas;

- Aumenta a mobilidade do tráfego em situações de emergência;
- Fornece suporte às políticas de monitoramento do tráfego;
- Possui aplicabilidade em rodovias federais, estaduais e urbanas.

#### **5.4.6.4. Técnicos**

- Reduz a quantidade de incidentes por falha humana, causados por fadiga, desatenção, sonolência ou falta de reflexo;
- Integra tecnologias avançadas de GPS;
- Fornece controle e operações de dirigibilidade dos veículos, facilitadas através de *displays* instalados;
- Possui aplicabilidade a vários tipos de veículos;
- Fornece uma série de sistemas de segurança, para o caso de falhas técnicas dos veículos.

#### **5.4.6.5. Segurança**

- Assegura a dirigibilidade do veículo, em condições climáticas adversas;
- Reduz os incidentes por falha humana;
- Fornece um completo diagnóstico do veículo em operação;
- Reduz a frequência de colisões e de acidentes graves;
- Reduz o número de acidentes (por km de rodovia) para algo em torno de 50 a 80 por cento;
- Diminui as taxas de acidentes fatais nas rodovias.

#### **5.4.6.6. Confiabilidade**

- Melhora a previsão dos tempos de viagem;
- Aumenta a pontualidade das operações.

## **5.5. ANÁLISE DA ATUAL SITUAÇÃO DOS SISTEMAS AVANÇADOS DE CONTROLE DE VEÍCULOS**

### **5.5.1. Introdução**

A idéia de um sistema de comunicação via-veículo, capaz de assumir totalmente as funções do motorista, não é nova. Pesquisadores têm articulado, por várias décadas, o desenvolvimento de pesquisas e testes operacionais, com o intuito de comprovar a importância e constatar a possibilidade da implantação desse conceito tecnológico.

Com a implantação de sistemas rodoviários automatizados tem-se a expectativa da duplicação, ou triplicação, da capacidade dos sistemas rodoviários existentes. Conseqüentemente, decrescem os problemas ambientais e os relacionados aos congestionamentos.

Baseando-se nisso, em 1993 a FHWA iniciou estudos precursores sobre sistemas rodoviário automatizados, visando investigar a viabilidade dessa tecnologia e seus benefícios potenciais.

### **5.5.2. Pesquisa**

Os estudos precursores indicaram a viabilidade técnica e o potencial dos sistemas rodoviários automatizados. Subseqüentemente a FHWA associou-se, de forma cooperativa, com o Consórcio Nacional de Sistemas de Rodovias Automatizadas (NAHSC), com o objetivo do desenvolvimento de pesquisas, para definir um conceito de sistema rodoviário automatizado.

### **5.5.3. O NAHSC (Consórcio Nacional de Sistemas Rodoviários Automatizados)**

Em 1994, foi formado o NAHSC, combinando as capacidades governamentais, industriais e acadêmicas, na aplicação de tecnologia moderna para melhorar a segurança e a eficiência do sistema via-veículo norte-americano.

Participantes do Consórcio:

- Bechtel Corporation;
- California Department of Transportation (Caltrans);
- Carnegie-Mellon University's Robotics Institute;
- Delco Electronics;
- General Motors;
- Hughes Aircraft;
- Lockheed-Martin;
- Parsons Brinckerhoff;
- U.S. Department of Transportation (representado pela FHWA);
- University of California Partners for Advanced Transit and Highway Program (PATH).

Essa sociedade é uma extensão lógica do programa de pesquisa iniciado em 1986, quando foi firmado um compromisso inicial e duradouro, com o objetivo de desenvolver tecnologias necessárias para um sistema rodoviário automatizado. Os primeiros meses de trabalho do Consórcio foram voltados, principalmente, para a elaboração do projeto de planejamento relacionado aos assuntos organizacionais e para a definição de conceitos-chave. Foram iniciadas, também, as pesquisas relativas ao AHS.

#### **5.5.4. Modelos de Desempenho do AHS**

O enfoque inicial, no primeiro ano de trabalho do PATH para o NAHSC, foi o desenvolvimento de uma série de softwares, utilizados para analisar a performance de diversos conceitos, com a finalidade de completar um protótipo de AHS até o ano de 2001. Um total de 22 instrumentos distintos foram desenvolvidos, incluindo modelos matemáticos, destinados a cálculos específicos, e um de micro-simulação, chamado SmartAHS. Esse é similar ao, também desenvolvido, modelo de simulação SmartPath; no entanto, sua área de abrangência é bem maior.

### 5.5.5. Fundamentos do Controle de Veículos

- **Controle lateral**

Existe uma série de pesquisas e testes operacionais voltados ao desenvolvimento de sistemas automáticos de controle lateral de direção de veículos. Os pesquisadores vêm conduzindo testes nos quais os veículos desenvolvem velocidades superiores a 50 mph, sob completo controle automático lateral de direção.

- **Controle longitudinal**

Os pesquisadores continuam o processo de aprimoramento de conceitos já existentes e investigam a viabilidade de novos enfoques relacionados à técnica do controle longitudinal dos veículos. As pesquisas estão sendo feitas, em conjunto, pela FHWA, PATH e Caltrans.

- **Controle Integrado de Manobras**

Está sendo explorada a viabilidade de aproveitamento dos magnetos, atualmente utilizados no controle lateral de direção, para prover o controle longitudinal. Até o final da pesquisa bibliográfica, apenas os sensores de alcance eram utilizados, para determinar o espaçamento entre os veículos. A desvantagem desse método é que qualquer erro de posicionamento, de um veículo em curso, se propagará por todo o pelotão. Com a utilização dos magnetos tem-se, com exatidão, a localização relativa do veículo. A instalação de um sensor de alcance, em cada veículo, ainda seria necessária; contudo, este poderia ser de menor precisão e, conseqüentemente, mais barato.

### 5.5.6. Sistemas Operacionais do AHS

- **Rodovias Automatizadas e as Arteriais Urbanas**

Para que exista uma suave transição do sistema automatizado para o normal (ou vice-versa), estão sendo desenvolvidos projetos de entradas e saídas de

rodovia, junto com várias estratégias de controle. A avaliação do desempenho é feita através da utilização de instrumentos analíticos e de simulação.

- **Projeto de Verificação de Manobras de Veículos no AHS**

Os pesquisadores avaliam a interação dos diversos veículos quando da execução de manobras, como as de mudanças de pista.

- **Projeto AHS-*Network Layer* para o SmartPATH**

Um novo *layer* está sendo adicionado ao modelo de simulação computadorizada, SmartPATH, possibilitando a análise do fluxo de tráfego de uma rede completa de rodovias automatizadas. Atualmente o SmartPath é usado para determinar os efeitos de incidentes causados em uma rodovia específica.

- **Tráfego Dinâmico**

O objetivo desse estudo é investigar o impacto de vários cenários operacionais do AHS. Uma formulação macroscópica é adotada para modelar o fluxo dinâmico do tráfego e prever as capacidades das pistas e os tempos de viagem, em um sistema rodoviário automatizado (AHS).

- **Desempenho de Rodovias Híbridas**

O propósito desse projeto é desenvolver uma teoria macroscópica e *softwares* associados, com a finalidade de prever o fenômeno de um veículo transitório, trafegando em uma rodovia híbrida (que possui pistas convencionais e automatizadas). As análises são feitas por modelos distintos, um para o sistema convencional e outro para o automatizado.

### 5.5.7. Conceitos Inovadores da Automatização de Veículos

- **Pelotão Contínuo**

Pelotão contínuo é um conceito evolutivo de tráfego, que considera a existência do fator humano (motoristas e passageiros) e de veículos automaticamente-controlados, para os sistemas rodoviários. Recentemente, os pesquisadores que trabalham neste conceito, desenvolveram um componente chave: o software chamado IVD (*intelligent vehicle driver*), capaz de condução autônoma e completa do veículo, seguindo informações providas dos sensores que determinam o seu controle longitudinal (velocidade) e lateral (direção). O IVD está baseado em uma estrutura hierárquica de controle inteligente e é considerado como o projeto que melhor executa as funções do tráfego, em um sistema complexo.

- **Veículos Completamente Autônomos**

Como uma alternativa para as rodovias automatizadas, os pesquisadores estão estudando a viabilidade do desenvolvimento de veículos completamente autônomos, que não precisariam de dispositivos especiais, instalados na rodovia, ou de sistemas de troca de informações inter-veículos. Ao invés disso, os veículos usariam técnicas de visão computadorizada para captar as condições de tráfego, e de lógica sofisticada para determinar que manobras deveriam ser executadas. Aplicando recentes desenvolvimentos em algoritmos *decision-making*, os pesquisadores puderam desenvolver uma simulação de direção, em rodovia, com uma variedade de situações de tráfego. Nesse processo, os pesquisadores desenvolveram novos algoritmos, que monitoraram cenas complexas, através de sensores especiais.

### 5.5.8. Tecnologia de Sensores

- **Microsensores Integrados para Controle de Veículos**

Com apoio do PATH, pesquisadores do *UC Berkeley's Sensor and Actuator Center* (BSAC) estão projetando, fabricando e aperfeiçoando sistemas microsensores completos para vários tipos de controle de veículos. Esses

microsensores são integrados com circuitos especiais. Incluem microacelerômetros, microgiroscópios (para rotação angular de um veículo) e acelerômetros microangulares (que controlam a aceleração). A tecnologia dos microacelerômetros tem progredido ao ponto de poder ser testada em veículos convencionais.

Os pesquisadores do BSAC também estão desenvolvendo um quarto tipo de microssensor integrado: microfones ultrassônicos, que utilizam ondas sonoras de altas frequências (humanamente imperceptíveis), são capazes de determinar a velocidade e a distância entre os veículos.

- **Sistema *Machine Vision Based* para Manobras de Prosseguimento e Mudança de Pista**

Esta pesquisa enfoca o problema da utilização de visão mecânica, para prover aos sensores as informações necessárias às operações de controle de velocidade, de direção, e de mudança de pista. Pesquisadores estão investigando o uso combinado de informações óticas para desenvolver e aperfeiçoar um modelo que forneça as posições e velocidades dos veículos em pistas vizinhas, bem como a posição relativa e velocidade do veículo que é dirigido. Um estudo piloto, usando um carro equipado com duas câmeras de vídeo, mostrou bons resultados em pista descoberta.

#### 5.5.9. Automatização de Veículos Pesados

Os ônibus e caminhões são muitíssimo mais pesados que os automóveis; conseqüentemente, a resposta deles aos comandos são relativamente lentas. Além disso, suas cargas totais variam freqüentemente e, com a alteração do centro de gravidade, estão mais sujeitos às capotagens. Pesquisadores estão analisando várias questões relacionadas ao controle e frenagem de veículos pesados.

#### 5.5.10. Pelotão Dinâmico

- **Dinâmica de Colisão a Baixas Velocidades**

Em 1995, os pesquisadores desenvolveram um software *display* gráfico, para modelos bi e tridimensionais, que permite acompanhar as deformações ocasionadas

por colisões simuladas, de baixa velocidade. Dados do *National Highway Traffic Safety*, sobre acidentes, têm sido analisados e utilizados na obtenção de valores de energia de colisão dissipada, em simulações com veículos.

- **Efeito das Incompatibilidades do Veículo dentro de um Pelotão**

No primeiro ano de trabalho deste projeto, uma lista de importantes parâmetros (e seus respectivos valores), que afetam os pelotões de veículos, foi elaborada. Um aperfeiçoado código de simulação com veículos alcançou velocidades 100 vezes maiores que as de um modelo primitivo e os efeitos de variabilidade dentro dos pelotões está sendo minuciosamente analisada.

#### 5.5.11. Segurança

- **Modos Degradados de Operação em AHS**

Pesquisadores estão trabalhando em estratégias de longo alcance para lidar com condições degradadas, como acidentes e condições climáticas adversas, em uma rodovia automatizada. O objetivo é desenvolver projetos que assegurem segurança e desempenho favoráveis.

- **Estrutura de Segurança do AHS**

Foi criada uma estrutura para avaliar as propriedades de segurança dos projetos AHS. Pesquisadores estão engajados no desenvolvimento de softwares que abranjam os vários aspectos de avaliação da segurança dos sistemas.

- **Software Teste de Segurança do AVCS**

Pesquisadores do PATH desenvolveram e validaram uma metodologia para testar, em tempo-real, o software AVCS, observando o comportamento de um veículo em um teste de pista. A metodologia, conhecida como *Monte Carlo black-box*

*testing*, é utilizada pelo sistema experimental do PATH para o controle lateral de veículos.

- **Confiabilidade do Sistema - Validação e Fusão de Sensores**

A manutenção do nível de segurança, parte integrante de um sistema inteligente de transportes, depende fortemente da confiabilidade das leituras dos sensores. Eventualmente, porém, algum sensor pode fornecer informações imprecisas, devido a ruídos de fontes, internas e externas, ou mau funcionamento. Para minimizar esses efeitos, propõe-se uma arquitetura de supervisão de controle, que consiste em um conjunto de módulos para validação e fusão do sensor, diagnóstico de falhas, análise de riscos e tomada de decisão sobre a segurança. Existem vários trabalhos voltados ao desenvolvimento e implementação de tais módulos.

#### 5.5.12. Questões da Política e do Planejamento dos AHS

- **Definição das Etapas para Desenvolvimento Progressivo do AHS**

Freqüentemente são levantadas questões a respeito das transformações das rodovias convencionais em sistemas rodoviários automatizados.

Devem ser definidas as etapas para o desenvolvimento de um AHS otimizado e confiável. Um possível primeiro passo, para automatização completa, poderia ser a implantação de um serviço automatizado em pequenos trechos de rodovia. O custo inicial dos primeiros veículos equipados para trafegar em pistas automatizadas provavelmente será alto, e pode ser necessário, também, o treinamento dos motoristas.

- **O Desenvolvimento do AHS em Rodovias da Califórnia**

Através de estudos de caso urbanos e interurbanos, os pesquisadores investigaram os assuntos de infra-estrutura, relacionados com diversos conceitos de desenvolvimento do AHS. Os estudos de caso interurbanos foram feitos em trechos da *Interstate-5*, na Califórnia e da *State Route 99*, entre Fresno e Sacramento. O estudo de caso urbano foi realizado em um trecho da *U.S. Route 101*, em Los Angeles.

- **Reação dos Usuários ao Sistema Automatizado**

A maior dúvida é se haverá interesse, por parte dos usuários, na aquisição de veículos especialmente equipados com as diversas tecnologias de automatização. Recentemente os pesquisadores completaram a revisão de uma pesquisa anteriormente feita com usuários sobre os sistemas rodoviários automatizados.

Estão, ainda, sendo feitas entrevistas com motoristas, a respeito de suas experiências em rodovias convencionais e sua percepção em relação aos sistemas automatizados. O objetivo é definir os segmentos mercadológicos para o AVCS, com relação ao controle de cruzeiro adaptável, aos sistemas de impedimento de colisões, e aos sistemas rodoviários automatizados completamente desenvolvidos.

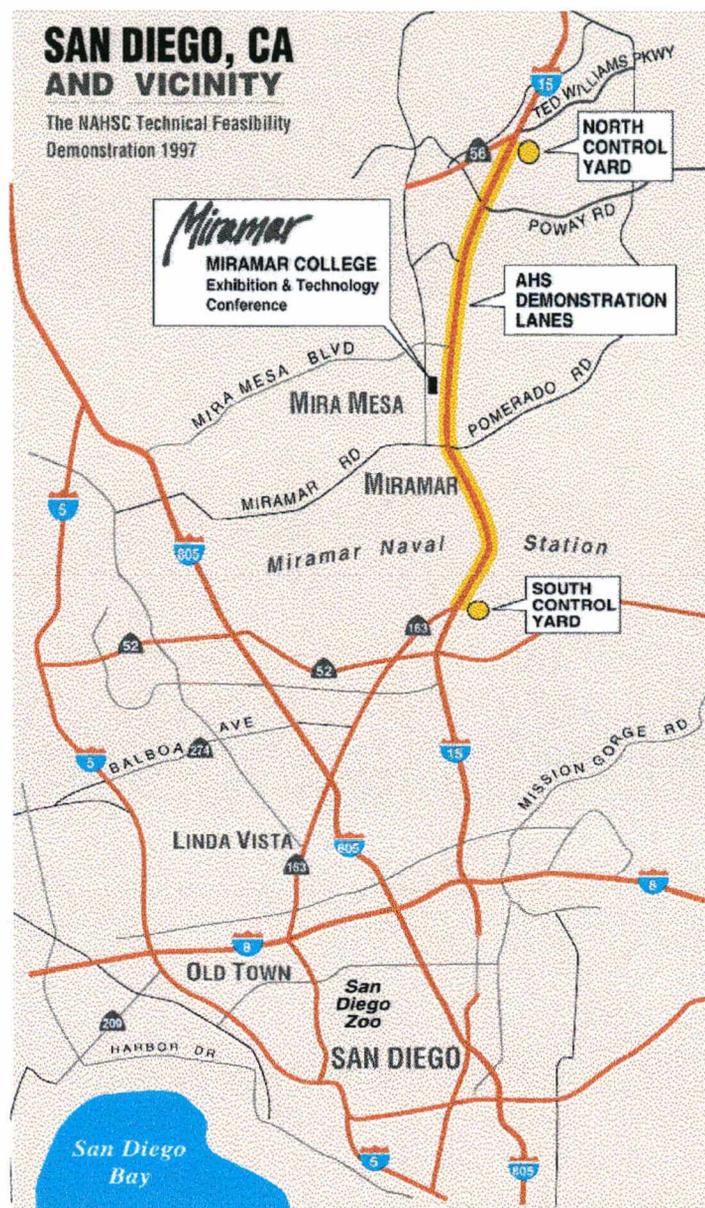
## **5.6. ESTUDO DE CASO: DEMO' 97**

### **5.6.1. Introdução**

Um marco decisivo, para o desenvolvimento do programa AHS, teve como destaque a Demonstração de Viabilidade Técnica (Demo' 97) feita em 7,6 milhas de extensão da Interstate-15, norte de San Diego (Califórnia), em agosto de 1997.

A Demo' 97 foi uma exibição de veículos em um segmento de rodovia interestadual, integrando as mais recentes realizações tecnológicas dos participantes do NAHSC e a indústria de transportes em geral. Esta demonstração pode não representar, diretamente, o conceito final de protótipo do Sistema Rodoviário Automatizado (AHS), mas oferecerá muitos elementos ao provável protótipo final.

Foram apresentadas, também, as tecnologias, existentes ou que estão em desenvolvimento, necessárias ao sistema, além de demonstrar que um AHS pode ser uma alternativa viável para o conhecimento da demanda e para aumentar a mobilidade do tráfego.



**Figura 5.4 - Local da Demo'97**

### 5.6.2. Objetivos

Um dos objetivos, durante os quatro dias de demonstração, foi testar as capacidades de controle automatizado de carros, caminhões e ônibus. Estes veículos também demonstraram estratégias diferentes de automatização: a habilidade para evitar colisões com objetos estacionários, ou em movimento; executar entrada e mudança de pista; e transição suave entre o controle manual e automatizado.

Um pelotão (de veículos) demonstrou como suas unidades mantêm uma taxa constante de distância, em função de sensores instalados nos mesmos. Os ônibus e

caminhões apresentaram o controle de manobras de veículo pesados, e uma Infra-estrutura de Diagnóstico de Veículo (IDV) detectou e informou a presença de obstáculos na estrada, acidentes, ou equipamentos com mau funcionamento na infraestrutura rodoviária.

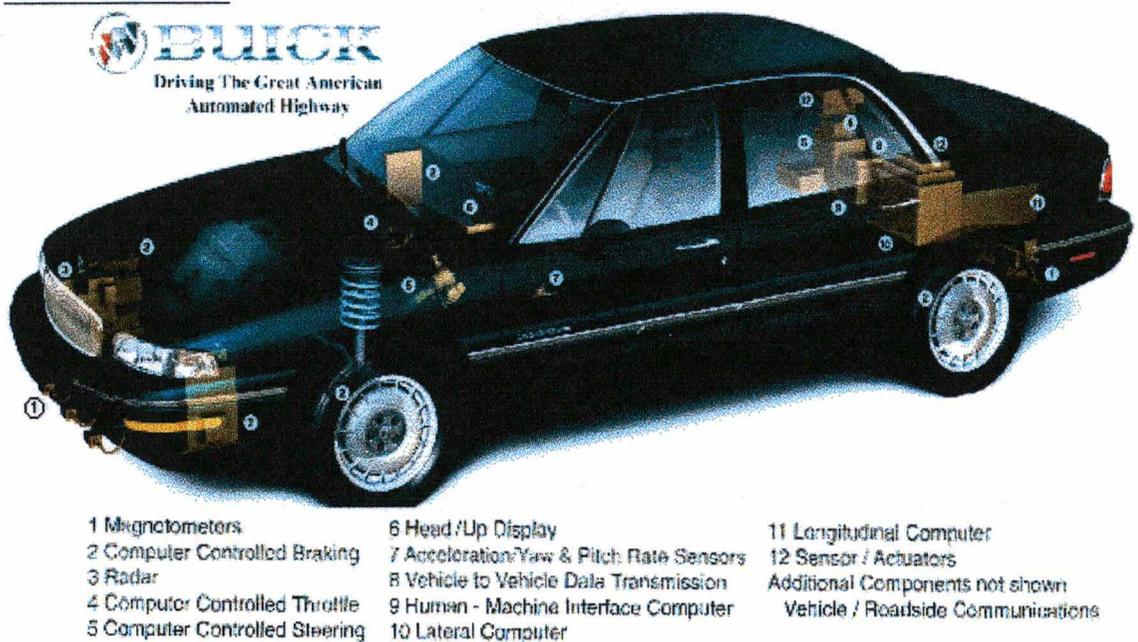


**Figura 5.5 - Rodovia I-15 - Pistas de prova**

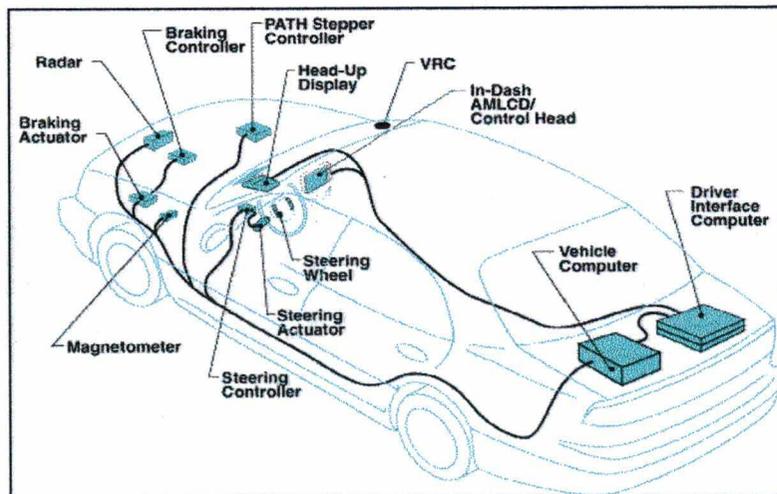
### **5.6.3.Arquitetura dos Veículos**

- Uma frota de 10 Buick Le Sabre 97, equipados especialmente, demonstrou a viabilidade de um sistema de transportes projetado para oferecer aos motoristas a opção da escolha de viagem em rodovias automatizadas. Estes veículos foram completamente adaptados por General Motors, Hughes e University of Califórnia PATH. Entretanto, alguns dos participantes do consórcio (Carnegie Mellon University, Delco Eletronics, Eaton Vorad, Honda, Houston METRO, Lockheed Martin, Ohio State University e Toyota) estão, independentemente, criando sua

própria versão protótipo de veículo, que incorporam algumas características telemáticas, utilizadas na comunicação de um sistema rodoviário automatizado.



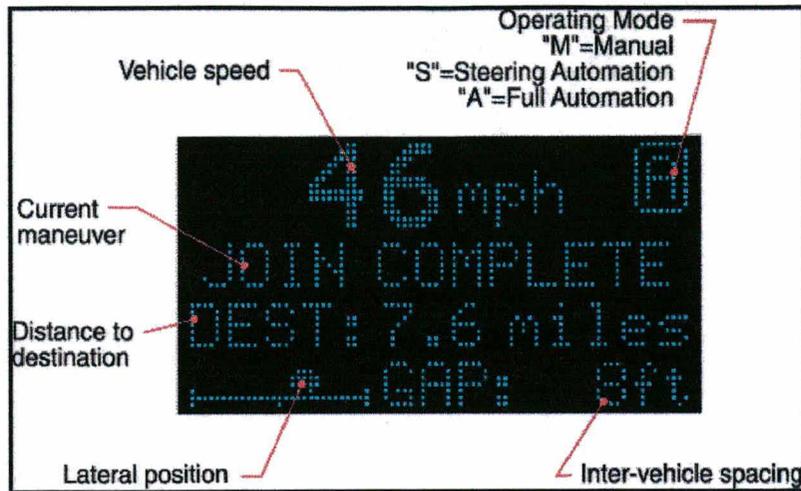
**Figura 5.6 - Buick Le Sabre adaptado**



**Figura 5.7 - Equipamentos especiais do veículo adaptado**

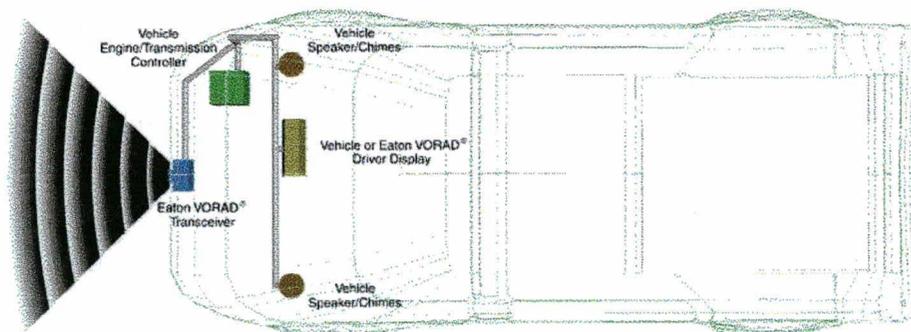
- A Delco Electronics projetou a interface usuário/veículo para o Buick Le Sabre. Um sofisticado projeto, que incorpora um *head-up display*, fornece informações vitais

aos motoristas. Por exemplo: velocidade do veículo, manobra em curso e distância do ponto de destino.



**Figura 5.8 - head-up display**

- Outro veículo-protótipo utilizado foi uma "van", equipada com os sistemas radar de alta-freqüência *Eaton Vorad*, instalados na dianteira e nas laterais, que transmitem sinais aos motoristas, quando detectam possíveis obstáculos na rodovia permitindo, com isso, uma ação rápida.



**Figura 5.9 - Van adaptada**

- O terceiro veículo (uma minivan Chevrolet Lumina adaptada) foi equipado com o *Lockheed Martin's Intelligent Diagnostic Vehicle (IDV)*. Este dispositivo é utilizado tanto para diagnosticar as condições da infra-estrutura viária, quanto para identificar

obstruções que necessitam de remoção. A Lockheed Martin, trabalhando em parceria com a Universidade da Califórnia e Caltrans, vem desenvolvendo equipamentos precisos para a adaptação de veículos inteligentes de manutenção. Esta área de desenvolvimento inclui interfaces e serviços de comunicação, via-veículo, em tempo real.

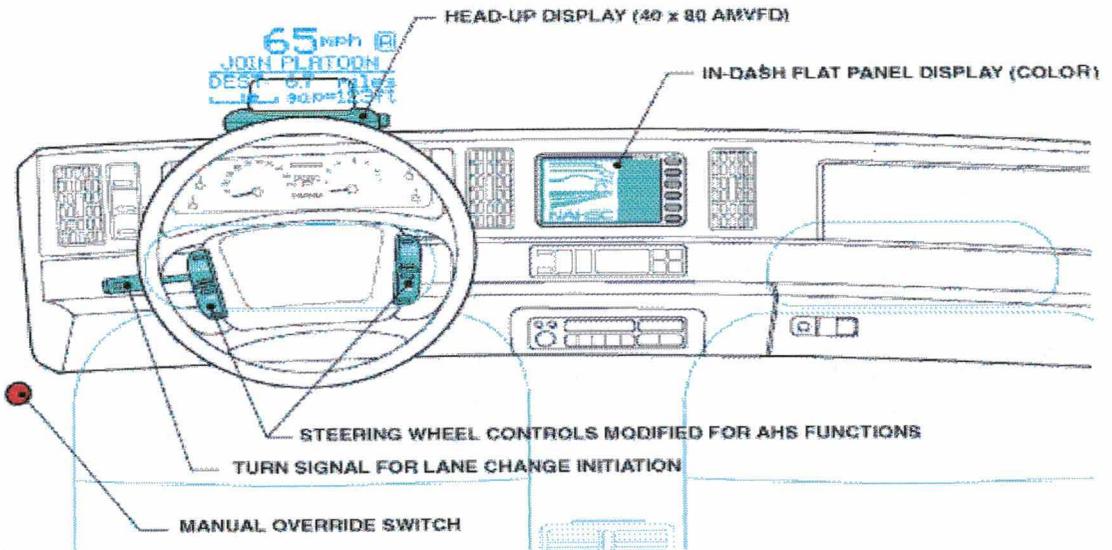


Figura 5.10 - Interior do veículo adaptado

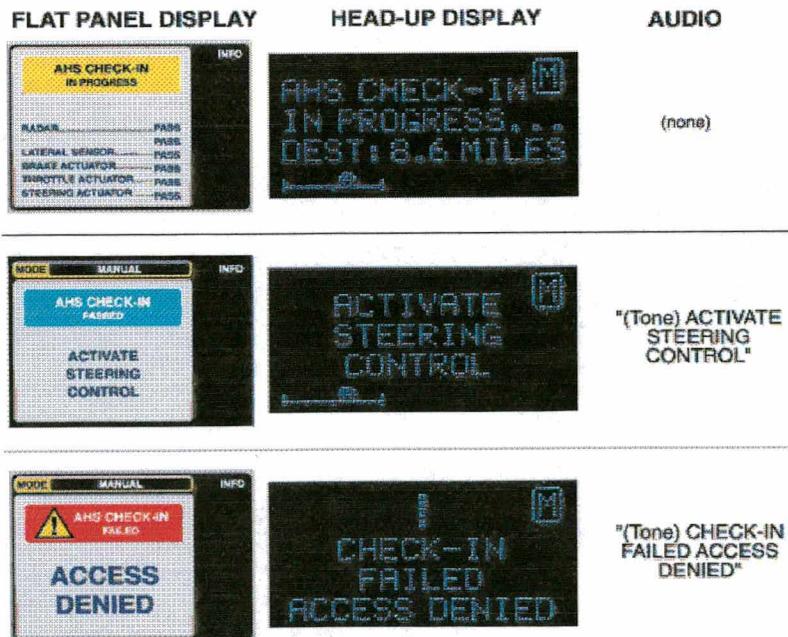


Figura 5.11 - Detalhe do display

#### 5.6.4. Cenários

Os motoristas e passageiros dos veículos participantes da Demo' 97 foram as primeiras pessoas a experimentar o alcance das tecnologias de AHS, em uma viagem por uma rodovia completamente automatizada. Suas reações e *feedbacks*, auxiliarão no desenvolvimento e continuidade do processo de planejamento.

Os participantes do NAHSC trabalham em conjunto para mostrar o que pode ser o futuro das viagens rodoviárias. Tais cenários não representam um protótipo final para um AHS, mas uma visão potencial dos benefícios e capacidades do sistema, para resolver problemas de tráfego, como a segurança decrescente e o aumento dos congestionamentos.

- **Cenário de Multi-plataformas**

A Carnegie Mellon University associou-se com o Departamento Metropolitano de Trânsito do Harris County (Houston Metro) para demonstrar tecnologias de veículos AHS-adaptados, utilizadas por plataformas de veículos diferentes, e comprovar o potencial de veículos automatizados que operam em tráfego não-automatizado. Utilizando dois ônibus, uma minivan e dois carros de passeio, o cenário é um mostruário de automatização completa, advertindo o motorista quanto à presença de obstáculos, evitando colisões, indicando as entradas/saídas de pista automatizada e apresentando as interfaces motoristas/operadores.

- **Cenário Pelotão**

O programa PATH da University of Califórnia utilizou 8 Buick Le Sabre 97, especialmente equipados, para atestar a viabilidade de um sistema de transportes projetado que visa melhorar significativamente o desempenho dos sistemas rodoviários. Os veículos foram completamente adaptados pela Delco Eletronics, General Motors, Hughes e University of Califórnia PATH, e viajam em uma formação de fila-única, conduzidos pelos magnetos embutidos na rodovia.

Os veículos aceleram, desaceleram, desviam de obstáculos e param, divididos em dois sub-pelotões, permitindo a entrada de outros veículos, para se

reunirem ao pelotão principal. Os motoristas recebem informações básicas como velocidade, distância até o destino final, quantidade de combustível necessária etc.

- **Cenário Caminhão Comercial**

A Eaton Vorad demonstrou como as tecnologias AHS podem beneficiar a indústria e o transporte rodoviário de carga. Utiliza-se de um caminhão-reboque e um carro de passeio nas pistas da rodovia. O caminhão utilizou o *SmartCruise*® (da Eaton Vorad), dispositivo que exerce o controle de cruzeiro e de um *headway* de espaço constante entre os veículos, quando estes variam sua velocidade.

- **Cenário de Manutenção**

A Caltrans apresentou as operações de manutenção em um AHS, que utilizam veículos para proceder ao diagnóstico da infra-estrutura viária (IDV) e o Veículo de Remoção de Obstáculos (ORV). O IDV, desenvolvido pela Caltrans, pela Lockheed Martin e pela Universidade da Califórnia, é um equipamento de diagnóstico, conduzindo o monitoramento, a inspeção física e os cuidados preventivos, que preservam a integridade da infra-estrutura do AHS. Estas operações de manutenção são executadas com o veículo deslocando-se em velocidades convencionais para rodovias automatizadas. O ORV, desenvolvido pela Pick-All Inc., demonstra a tarefa de remoção automática de entulhos das pistas do AHS.

- **Cenário Controle de Transição**

Neste cenário, a Honda apresentou dois enfoques relativos aos sistemas rodoviários. Utilizando dois Honda Accord especialmente equipados, foi demonstrada a possibilidade de formação do pelotão, durante a transição dos dois modos de controle lateral (da infra-estrutura adaptada e de veículo independente). Em ambos os casos, é utilizada a tecnologia *laser* para o controle longitudinal.

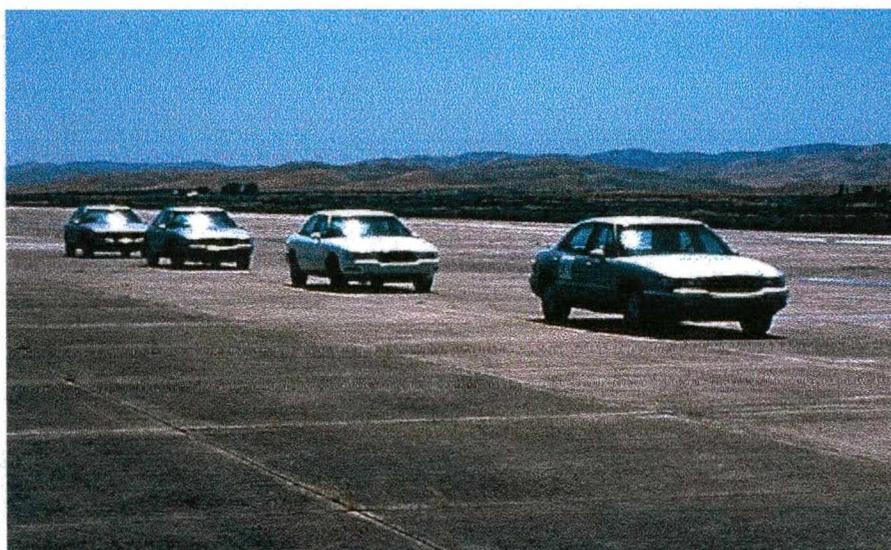
- **Cenário de Tecnologia Alternativa**

A Ohio State University utilizou um carro manualmente dirigido e dois carros automatizados para mostrar a ultrapassagem de um veículo automatizado por um carro manualmente dirigido, o que vem destacar uma tecnologia adicional para a execução do controle lateral. Quatro milhas das pistas são equipadas com fita radar-refletiva fabricada pela 3M. Esta fita (ao contrário dos dispositivos magnéticos usados em outros cenários) e um sistema de câmeras são utilizados para o controle lateral. É utilizado um *Eaton Vorad low-powered radar*, para a detecção lateral, e um sistema a *laser*, para o controle longitudinal dos veículos.

- **Cenário Evolutivo**

Este cenário apresentou a evolução da automatização de veículos. O Toyota Technical Center utilizou a infra-estrutura viária existente. Dois Toyota Avalon, adaptados com conceitos de automatização diferentes e dois Toyota Camry não-automatizados são utilizados para, consecutivamente, demonstrar os seguintes sistemas: de detecção de obstáculos, de controle longitudinal (utilizando controle de cruzeiro inteligente), de desvio de obstáculos (utilizando detecção a *laser*) e de manobras automatizadas de mudança de pista.

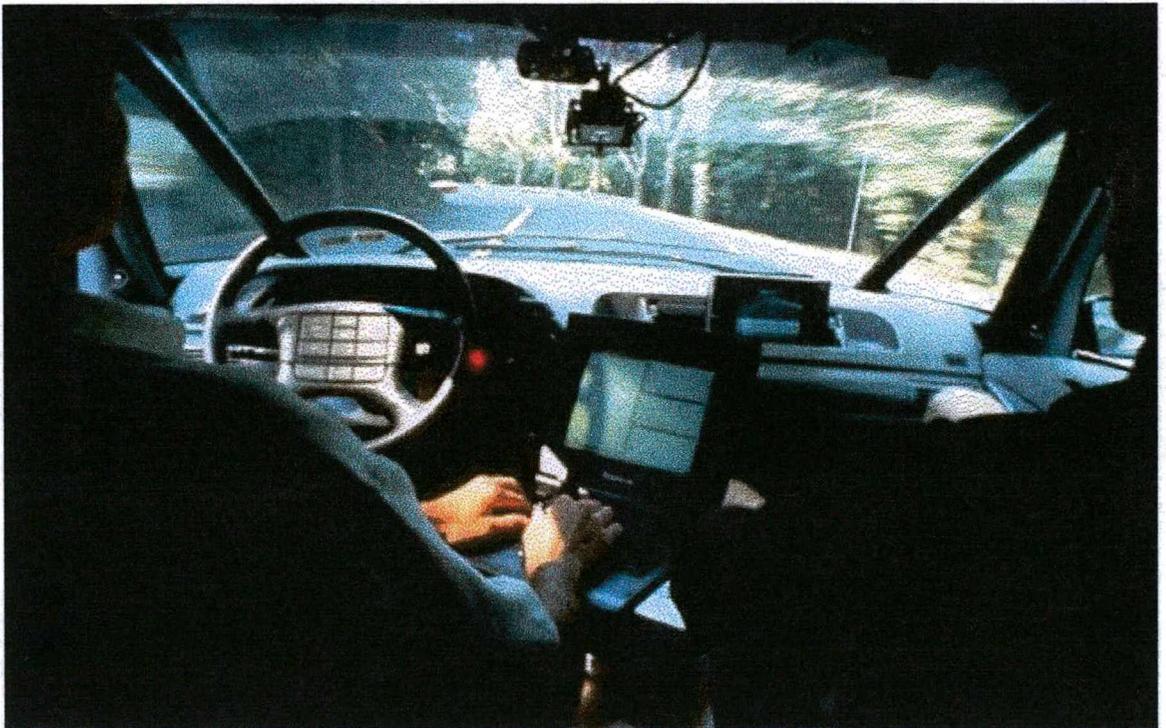
### 5.6.5. Ilustrações



**Figura 5.12 - Um Pelotão de Veículos Automatizados**



**Figura 5.13 - Buick Le Sabre controlado automaticamente**



**Figura 5.14 - Perspectiva interior do veículo**

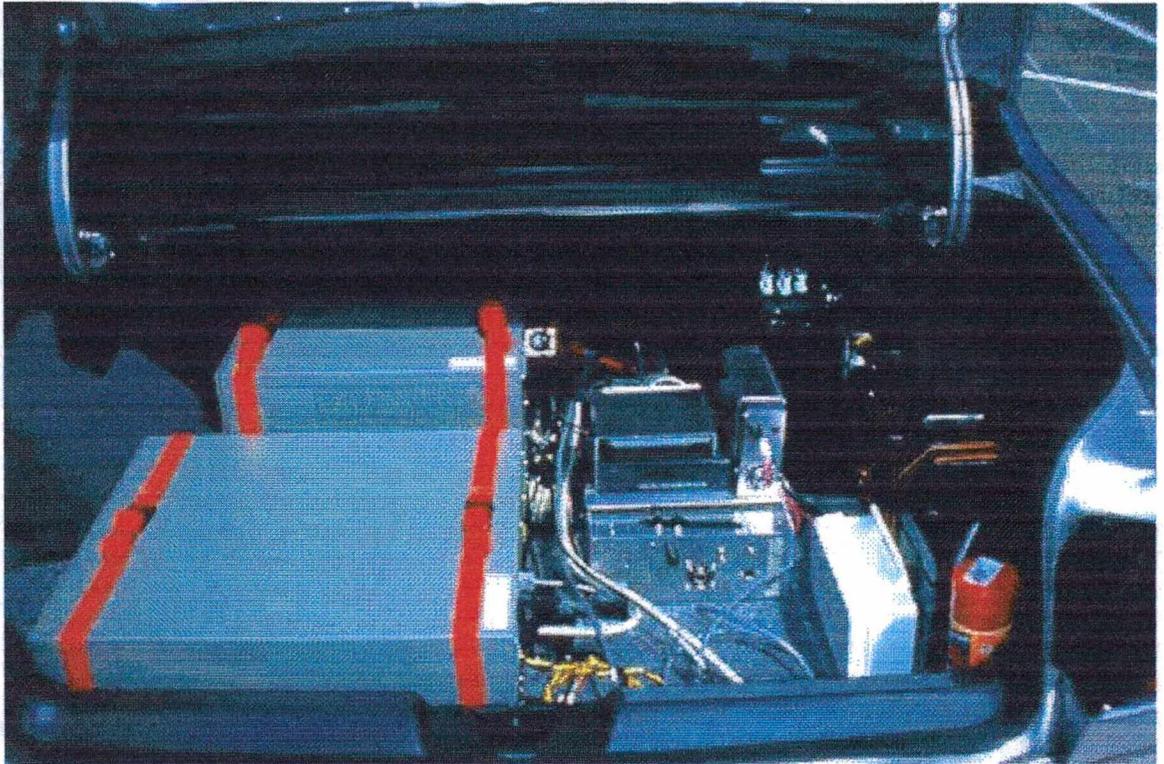


Figura 5.15 - Interface computadorizada veículo/motorista - Le Sabre

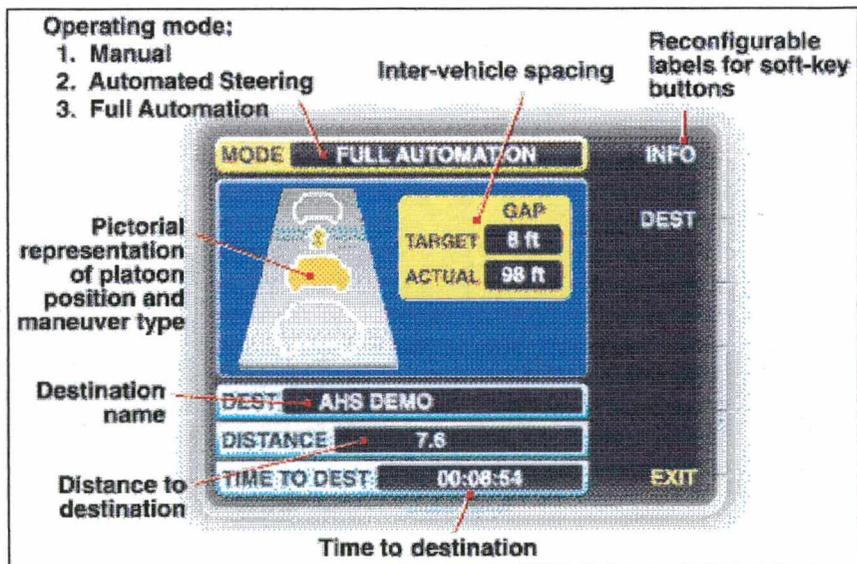


Figura 5.16 - Delco's AHS FPD/Control Head

## **CAPÍTULO 6 - ITS-APLICAÇÕES E RESULTADOS OBTIDOS**

## **6. ITS-APLICAÇÕES E RESULTADOS OBTIDOS**

### **6.1. INTRODUÇÃO**

Neste capítulo analisa-se a atual situação dos projetos e dos programas relacionados aos sistemas inteligentes de transporte rodoviário.

Enfocam-se ITS com exemplos de projetos desenvolvidos e os resultados alcançados com a sua implantação.

Diversos países estão em um processo de desenvolvimento de sistemas rodoviários inteligentes. Contudo, a pesquisa bibliográfica indica os Estados Unidos como o país onde existe o maior número de aplicações e apresentação de resultados.

Finalmente, aborda-se a situação brasileira, onde o processo de implantação de sistemas rodoviários inteligentes está iniciando.

### **6.2. EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DOS ITS**

#### **6.2.1. *Houston Transportation and Emergency Management Center (TEMC)***

O TEMC foi planejado para ser uma central, completamente integrada, no sentido de conduzir o gerenciamento dos serviços de emergência e dos transportes rodoviários, na área metropolitana de Houston, Texas. O centro é responsável por várias rodovias e os componentes de gerenciamento incluem:

- Sistema de Gerenciamento de Rodovias (300 milhas);
- Sistema de Gerenciamento de Incidentes nas rodovias principais e arteriais;
- *Ramp Metering*;
- Vigilância por Circuito Fechado de Televisão (CCTV);
- Painéis de Mensagens Variáveis;

- Sistema de Pista HOV (105 milhas);
- Sistema Regional de Controle de Semáforo (2.800 semáforos);
- Gerenciamento de Operações Emergenciais e Acidentes;
- Programa de Assistência aos Motoristas (MAP).

A Central integra, em uma unidade única, as atividades administrativas, as funções de controle do tráfego, propriamente ditas, e demais responsabilidades, de acordo com os limites funcionais e jurisdicionais. Significantes benefícios são decorrentes dessa estrutura integrada, com a eliminação das restrições organizacionais e com o aglutinamento dos recursos financeiros, humanos, técnicos e de equipamentos.

Como parte do Centro de Comando, existem a sala de controle das operações, a sala de comunicações, a central telefônica, a sala de apoio a emergências e três andares para os escritórios dos participantes do projeto.

A principal divisão do TEMC é o Sistema de Gerenciamento de Rodovias, conhecido como “Sistema Computadorizado de Gerenciamento dos Transportes”, que monitora e, em determinadas circunstâncias, controla o fluxo do tráfego. O Sistema é constituído por um conjunto de tecnologias, divididas em três subsistemas integrados:

- gerenciamento do tráfego rodoviário;
- vigilância, comunicações, e controle (de pista);
- sistema coordenado de semáforos.

Elementos do sistema:

- Detectores de veículos, que registram a velocidade, a ocupação e o fluxo do tráfego;
- Sistema de rádio-consulta rodoviária;
- Vídeo-câmeras;
- Rede de comunicações por fibra ótica;
- Central de computadores e terminais.

A iniciativa é um esforço cooperativo entre a Prefeitura de Houston, Agência Metropolitana de Trânsito (METRO) e o Departamento de Transportes do Texas (TXDOT).

### 6.2.2. MD *Statewide Operations Center*

O Maryland State Traffic Control Center representa a parte central do Programa CHART (*Chesapeake Highway Advisories Routing Traffic*). Trata-se de um programa de gerenciamento avançado do tráfego e de informações, o qual inclui as funções de vigilância e detecção, informação aos viajantes, gerenciamento de incidentes e gerenciamento de tráfego. O núcleo do programa CHART é o *Statewide Operations Center* (SOC), um centro de comando e controle, com ênfase na integração da engenharia rodoviária com as funções de manutenção, tais como a coordenação das atividades (relativas ao controle do tráfego) com os órgãos e autoridades locais e estaduais.

O sistema também é capaz de, remotamente, operar o gerenciamento do tráfego, através de satélites que fazem a conexão com os demais Centros Operacionais de todo o estado, que fornecem controle localizado, durante os períodos de pico ou de incidentes graves. Informações sobre as principais rodovias estaduais são coletadas de maneira convencional, com as modernas técnicas de vídeo-monitoramento e por radares fixos, instalados na rodovia. Um elemento chave do programa consiste na iniciativa de compartilhamento dos recursos de comunicação, na qual as companhias selecionadas são responsáveis pela instalação de cabos de fibra ótica, para a operação e monitoramento do tráfego, em troca do direito de instalação de redes comerciais de telecomunicações. Advertências e informações são repassadas aos viajantes, através de painéis de mensagens variáveis dos sistemas de rádio-consulta e dos tradicionais serviços de informação sobre o tráfego, fornecidos pelas estações privadas de rádio-comunicação (AM/FM).

O SOC abrange as mais avançadas tecnologias de comunicações, processamento de informações e interface operacional, com as funções de monitoramento, coordenação e controle do tráfego, facilitando o processo de divulgação das informações, instruções e consultas por parte dos usuários.

### 6.2.3. *Montgomery County, Maryland - Transportation Management System*

O Sistema Avançado de Gerenciamento de Tráfego (ATMS) proporciona a vigilância do tráfego, controle em tempo-real e informações pertinentes, que subsidiam o gerenciamento da rede rodoviária do município de Montgomery. O município encoraja e apóia a coordenação entre os departamentos, como parte do seu programa de gerenciamento e o ATMS fornece as ferramentas para a implementação de um efetivo programa de gerenciamento dos transportes. O Sistema enfatiza o compartilhamento das informações entre os departamentos responsáveis pelo tráfego, a mídia e a população e tem como característica sua arquitetura aberta, que permite a incorporação de novas tecnologias ao sistema. Alguns dos seus principais componentes são os seguintes:

- Controle avançado de semáforo, instalado em 1500 semáforos;
- Controle automatizado de mensagens variáveis e de roteamento;
- Sistema de vídeo-vigilância, capaz de suportar 200 câmeras;
- Capacidade de monitoramento de 3000 detectores, de vários tipos;
- Sistema de Informações Geográficas;
- Sistema Automatizado de Informações sobre os Transportes, que inclui:
  - ⇒ Sistema de rádio-consulta aos viajantes (TARS);
  - ⇒ Canal de TV a cabo, municipal, para transmissões exclusivas e ao vivo, relativas aos transportes (canal 55);
  - ⇒ Conexão direta com as demais estações de TV.
  - ⇒ Coordenação e informações compartilhadas, com os serviços de informações do tráfego (Metro Traffic e Shadow Traffic);
  - ⇒ Internet;
  - ⇒ Sistema de informações telefônicas, para os transportes;
  - ⇒ Cabines e centrais de informações, que integram o gerenciamento e as operações do trânsito e do tráfego.
- Sistema automático de localização de veículos com tecnologia GPS;
- Sistema automatizado de gerenciamento e detecção de incidentes;

- Programa de vigilância aérea, integrado com todos os departamentos. Aeronaves, equipadas com câmeras de vídeo, transmitem, ao vivo, os eventos da rede rodoviária e, com os Centros de Gerenciamento, coordenam os serviços.
- Integração automatizada com os sistemas computadorizados da polícia/corpo de bombeiros.
- Sistema automatizado de planejamento e apoio aos transportes.

No município de Montgomery foi implantado um sistema de comunicações, que dá suporte aos requisitos necessários ao sistema computadorizado de semáforo e ao ATMS. O sistema é constituído por cabos de fibra ótica. Esses cabos utilizam o padrão SONET (*Synchronous Optical Network*), para o desempenho das funções de distribuição e armazenamento de dados, de voz e de vídeo.

A chave do sucesso, do programa operacional de transportes do município, consiste na coordenação e cooperação existente entre os diversos órgãos envolvidos, ou seja, departamentos, de polícia, ambiental, de planejamento, de transportes; corpo de bombeiros e serviços de resgate; nos níveis local, estadual e nacional. Essa coordenação é possibilitada através das funções do ATMS.

O município possui um extensivo programa de informações criteriosas aos envolvidos com o sistema de transportes. Informações, precisas e em tempo-real, são repassadas de diversas formas (por agências públicas, pela mídia, por empresas privadas de informações), e utilizadas tanto pelos operadores como pelos usuários do sistema de transportes rodoviários.

Outro aspecto importante do sistema de gerenciamento de transportes é a integração existente entre o gerenciamento do tráfego e do trânsito. Os responsáveis trabalham em conjunto, em uma instituição única (o Centro Municipal de Gerenciamento dos Transportes). Tecnologias avançadas monitoram a localização dos ônibus municipais, utilizando GPS, e possibilitam o ajuste automático dos semáforos, em situações especiais.

O ATMS é a principal ferramenta do programa municipal de gerenciamento de incidentes. Através de sistemas de controle, de monitoramento e de informações, os incidentes são rapidamente detectados e resolvidos da maneira mais efetiva e segura possível. O sistema de semáforo computadorizado, o programa de vigilância aérea e técnicas modernas de detecção também auxiliam o gerenciamento dos incidentes.

As capacidades do ATMS também são importantes na supervisão de eventos especiais, minimizando os impactos causados pelo bloqueio de rodovias ou por grandes volumes de tráfego. O sistema é utilizado no planejamento e gerenciamento desses eventos.

#### 6.2.4. *San Antonio, Texas Advanced Traffic Management System (TransGuide)*

O projeto TransGuide é a primeira etapa de um programa principal de gerenciamento avançado do tráfego, para a área metropolitana de San Antonio, Texas. O programa é completado pelo Centro de Controle Operacional, sustentado por sistema de computadores, softwares aplicativos, equipamentos de comunicação e todo o suporte de *hardware* necessário.

O sistema tem como principal função fornecer aos órgãos responsáveis pelo transporte a capacidade de reagir rapidamente aos acidentes e incidentes ocorridos nas rodovias. Auxilia os controladores do tráfego na tarefa da supervisão, vigilância e detecção automatizada dos incidentes, estando fortemente integrado com esses processos.

Os objetivos do sistema são os seguintes:

- Detectar incidentes, até dois minutos após a ocorrência;
- Alterar os dispositivos de tráfego envolvidos em um incidente, até 15 segundos após o alarme;
- Habilitar os oficiais de polícia para operações de controle de tráfego, de acordo com as instruções do Centro de Controle Operacional;
- Projetar a confiabilidade e expansibilidade do sistema;
- Dar apoio a futuras implementações tecnológicas dos ITS.

Detecutores indutivos, vídeo-câmeras coloridas de alta resolução, painéis de mensagens variáveis e letreiros de controle de pista compõem o sistema rodoviário. Os detectores indutivos *loop* estão instalados e configurados de maneira a prover informações relativas à velocidade dos veículos, à ocupação das pistas e aos volumes de tráfego. As câmeras de alta resolução fornecem imagens claras, com 750 linhas horizontais e com a função *zoom*, controladas remotamente. O campo de visão, a 1,5

milha, é de 20 pés na vertical por 30 pés na horizontal. O painel de mensagens variáveis permite a disposição de texto alfa-numérico, utilizando feixes de fibra-ótica, produzindo caracteres claros e legíveis, enquanto que os letreiros de pista, utilizando a mesma tecnologia, são visíveis a um quarto de milha, em condições atmosféricas normais.

Uma rede digital de comunicações transmite os dados, as imagens e os sons dos equipamentos de campo ao Centro de Controle Operacional e os softwares, comerciais e especialmente desenvolvidos, sustentam as funções de detecção, roteamento, análise e armazenamento de dados, característicos do sistema TransGuide. Sistemas especialistas procedem à análise e à divulgação dos dados do tráfego, e, remotamente, efetuam o controle das vídeo-câmeras e dos semáforos.

O ATMS, como principal componente do sistema TransGuide, auxilia na aquisição, análise, armazenamento e distribuição dos dados, relativos aos incidentes rodoviários, monitorando o estado e o controle dos equipamentos de campo e dos equipamentos digitais de comunicações da rede. Sistemas monitorados de alarme também estão disponíveis, permitindo uma rápida identificação de problemas de mau funcionamento do sistema.

#### **6.2.5. Seattle Wide-area Information for Travelers (SWIFT)**

O SWIFT consiste em um Sistema Avançado de Informação aos Viajantes (ATIS), envolvendo os seguintes participantes:

- *Delco Eletronics Corporation* (subsidiária da *General Motors*);
- *ETAK, Inc.*;
- *Federal Highway Administration*;
- *International Business Machines (IBM)*;
- *King County Dept. of Metropolitan Services*;
- *Metro Traffic Control*;
- *Seiko Communications Systems, Inc.*;
- *University of Washington*;
- *Washington State Department of Transportation*.

O SWIFT foi planejado para prover, ao município de Seattle, as capacidades dos ATIS, utilizando dispositivos de comunicação de alta velocidade, capazes da recepção de informações, como consultas sobre o tráfego, condições e funcionamento do trânsito, horários dos transportes públicos, entre outras.

Os dispositivos de recepção de mensagens instalados são os que seguem:

- Rádio-receptores Delco;
- Computadores portáteis IBM;
- Seiko Message Watch<sup>®</sup>.

Os computadores portáteis podem receber, através de mapas digitais, informações sobre o tráfego atual de diversas localidades e o posicionamento dos ônibus (conforme sua programação de horário). Os dados, do programa SWIFT, são coletados (por várias organizações) e processados pela *University of Washington*.

O sistema de rádio-transmissão, com uma taxa de 19.200 bps, são capazes de enviar mensagens individualmente, como nos *paggers* existentes, ou em pacotes. O sistema dispõe de um total de 700 dispositivos, assim distribuídos: 500 *Message Watches*<sup>®</sup>, 100 rádios Delco, e 100 computadores portáteis IBM. Usuários do sistema de transportes são freqüentemente recrutados para participar de testes operacionais, com o objetivo de avaliar o sistema, de acordo com planejamentos iniciais. Diversas questões (de desempenho técnico, institucionais, de aceitação pública etc.) são analisadas durante esses testes.

#### **6.2.6. Orlando, Florida - TRAV-TEK**

Esse programa, instituído na forma de parceria entre os setores público e privado, é um projeto de testes operacionais para os Sistemas Avançados de Informação aos Viajantes (ATIS). Os testes envolvem 5 organizações, 100 veículos (equipados com sistemas eletrônicos de roteamento) e 4.000 motoristas.

O sistema está conectado com o Centro de Controle de Tráfego, via satélite, fornecendo aos motoristas informações detalhadas sobre rotas e destinos, através da localização do veículo em tempo real (com a utilização de GPS). [87]

#### **6.2.7. Greyhound Bus Collision Warning System**

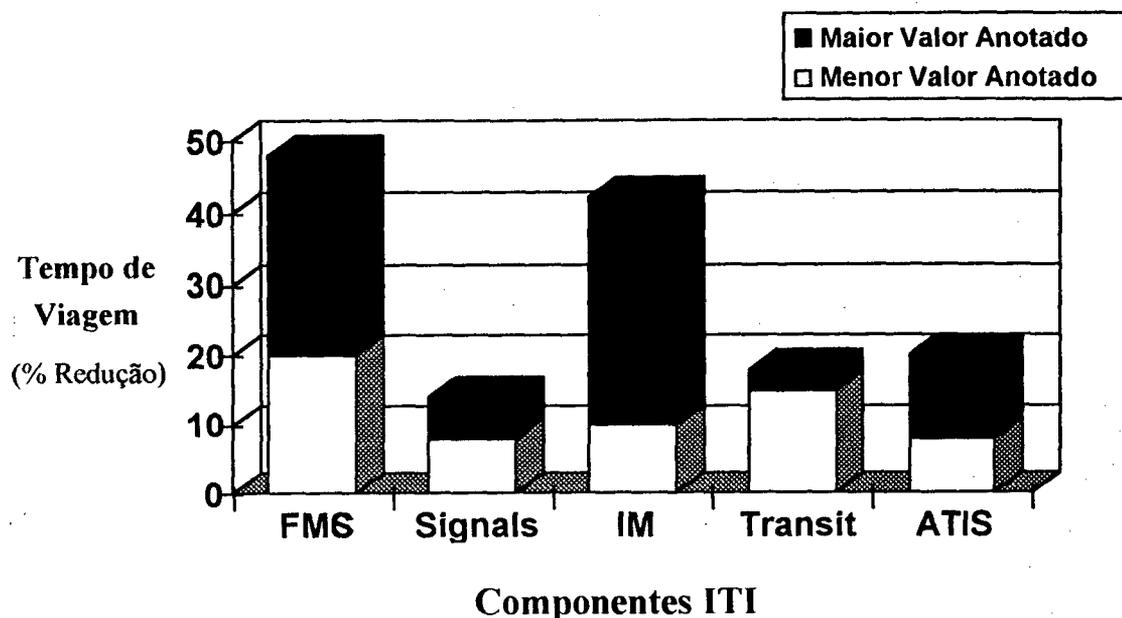
O município de Greyhound providenciou a instalação de um Sistema Avançado de Controle de Veículos (AVCS), responsável pelo controle de 1.600 ônibus.

O sistema tem, como principal componente, um radar de advertência às colisões capaz de alertar os motoristas quando os ônibus se aproximam, perigosamente, de outros veículos ou de obstáculos, lateral e longitudinalmente.

Como resultado, o sistema apresenta a redução de 20% no número de acidentes (com base na contagem dos primeiros 100 milhões de milhas percorridas após a implantação do sistema, entre 1992 e 1993). [87]

### **6.3. RESULTADOS OBTIDOS COM APLICAÇÕES DO GERENCIAMENTO AVANÇADO DE VIAGENS [89]**

A implementação de programas ITI demonstrou benefícios, voltados às metas dos programas de sistemas inteligentes de transportes, nas áreas de segurança, produtividade, eficiência, e impacto ambiental. Os benefícios são derivados de um fluxo de tráfego mais homogêneo, com menores índices de atrasos nos sinais, de incidentes, e de congestionamentos do tráfego. A maioria dos aspectos do ITI contribui para economias de tempo. O gráfico abaixo resume o alcance de economia de tempo, que pode ser alcançado com a implementação de sistemas ITI, relativo às condições para as quais os elementos de infra-estrutura se destinam.



Fonte: MITRE Corporation. Intelligent Transportation Infrastructure Benefits: Expected and Experienced. Federal Highway Administration. Washington DC. January 1996.

**Gráfico 6.1 - Expectativa de Economia de Tempo**

Ainda não estão disponíveis os benefícios quantitativos e estimativas de custos satisfatórias, para todos os componentes do ITI. Entretanto os sistemas tornam-se cada vez mais populares entre os operadores dos sistemas de transportes.

A razão pela qual se implantam soluções de tecnologia, ao invés das tradicionais expansões de rodovias, varia com localização e tipo de projeto. Os Sistemas de Gerenciamento de Rodovias fornecem uma alternativa para o aumento da capacidade em situações onde a expansão rodoviária seja muito cara, geograficamente inviável ou politicamente impossível. Diversas regiões estão usando recursos de gerência de congestionamentos e de aumento da qualidade do ar, enquanto outras estão em fase de planejamento, à espera de recursos.

A seguir, serão enfocados os benefícios provenientes de cada componente ITI, especificamente:

### 6.3.1. Sistemas de Gerenciamento de Rodovias

Os Sistemas de Gerenciamento de Rodovias têm demonstrado a aquisição de benefícios pelo sistema rodoviário, com base em diversas formas mensuráveis de

efetividade (MOEs), as quais incluem o tempo de viagem, velocidade, capacidade da rodovia, número de colisões, consumo de combustível e emissão de gases na atmosfera.

**Tabela 6.1 - Sistemas de Gerenciamento de Rodovias-Resumo dos Benefícios**

Tempo de Viagem	Diminuição de 20% - 48%
Velocidade	Aumento de 16% - 62%
Capacidade da Rodovia	Aumento de 17% - 25%
Taxa de Acidentes	Diminuição de 15% - 50%
Consumo de Combustível	Diminuição de 41% (em congestionamentos)
Emissões (Detroit study)	Diminuição da emissão de CO em 122.000 ton/ano Diminuição da emissão de HC em 1.400 ton/ano Diminuição da emissão de NO <sub>x</sub> em 1.200 ton/ano

Estudos de avaliação, do sistema de gerenciamento de rodovias na região de Seattle, Washington, por um período de seis anos<sup>1</sup>, relatam um crescimento do tráfego de 10% a 100%, ao longo de vários segmentos da I-5, enquanto as velocidades permaneceram fixas ou aumentaram em até 48%, e as taxas de acidente caíram consistentemente a um nível de 62%, em relação ao início do estudo.

O Centro de Administração de Tráfego de Minnesota, que opera rodovias na área de Minneapolis, apresenta os seguintes resultados<sup>2</sup>: capacidade da rodovia de 2200 vplph (veículos por faixa por hora), comparado com os anteriores 1800 vplph. As velocidades médias aumentaram de 34 mph para 46 mph. A taxa de acidentes na I-35W antes do gerenciamento era de 421 e, depois, de 308 acidentes por ano.

Uma pesquisa realizada junto a diversos centros de administração de tráfego, com a utilização de *ramp metering*<sup>3</sup>, tem demonstrado resultados semelhantes. Além de aumentos de velocidade de 16% a 62%, o número de acidentes decresceu de 15% a 50%. Esses números são frequentemente usados para justificar as implantações de sistemas de gerenciamento de rodovias, com base na relação custo/benefício.

<sup>1</sup> Henry, K., and Meyhan, O., 6 Year FLOW Evaluation, Washington State DOT, District 1, January 1989.

<sup>2</sup> Minnesota DOT Freeway Operations Meeting Minutes, January 1994.

<sup>3</sup> Robinson, J. and Piotrowicz, G., Ramp Metering Status in North America, 1995 Update, Federal Highway Administration, June 1995.

Enquanto algumas melhorias foram implementadas nas rodovias, durante o período de estudo, a combinação de procedimentos - relativos à geometria da rodovia e ao veículo - e testes operacionais, mostraram reduções significantes na taxa de acidentes.

O sistema de gerenciamento de rodovias, em Minneapolis, foi desenvolvido como um projeto de demonstração, em 1968. As expansões relacionadas à implantação de sistemas foram justificadas pelos benefícios demonstrados, e pela avaliação comparativa com outras opções (que não constituíssem construção de novas rodovias). Como uma comparação aproximada, a expansão de uma rodovia custa U\$ 2 milhões por milha por pista, enquanto a implementação completa de um sistema de gerenciamento custa U\$ 500.000 por milha, mais o custo de um centro de administração de rodovias<sup>4</sup>. Por exemplo: em uma rodovia existente, de quatro pistas, com a instalação de um centro de gerenciamento de tráfego (TMC), a capacidade poderia aumentar 50%. O custo seria de 1/8 em relação ao de construção de pistas adicionais.

Como consequência da redução dos atrasos de tempos de viagem, também são reduzidas as emissões de gases na atmosfera. De acordo com análises feitas pelo centro de administração de rodovias de Detroit<sup>5</sup>, os atrasos em função de incidentes são reduzidos em 40%, aproximadamente, o que resulta na redução anual de 41,3 milhões de galões de combustível, de 122.000 ton de emissões de monóxido de carbono, 1.400 ton de emissões de hidrocarbonetos, 1.200 ton de emissões de óxidos de nitrogênio.

### 6.3.2. Sistemas de Controle de Semáforo

Sistemas flexíveis de semáforo têm sido instalados, progressivamente, desde que o primeiro sistema computadorizado foi posto em atividade, no início da década de 60. Em diversos aspectos, como tempos de viagem, velocidades de deslocamento, paradas de veículos, atrasos, consumo de combustível e emissão de gases

---

<sup>4</sup> "Comparison of Conceptual System Design and Costs: ITS Surveillance and Communication Applications: Rural vs Urban Freeway Corridors," prepared by Edwards and Kelsy for the I-95 Corridor Coalition, September 1995.

<sup>5</sup> Early Deployment of ATMS/ATIS for Metropolitan Detroit, prepared for Michigan DOT by Rockwell International, Dunn Engineering, and Hubbel, Roth & Clark, February 1994.

na atmosfera, os benefícios têm sido relatados, com a implantação de sistemas de controle.

Os primeiros resultados apresentados foram provenientes de um projeto implantado em Wichita Falls, Texas, em 1966. Os benefícios demonstravam uma redução de 16% em paradas, de 31% nos atrasos, de 8,5% nos acidentes e aumento da velocidade em 50%<sup>6</sup>. Esta análise comparativa foi feita em relação aos valores do sistema anterior.

**Tabela 6.2 - Sistemas de Controle de Semáforo-Resumo dos Benefícios**

Tempo de Viagem	Diminuição de 8% - 15%
Velocidade	Aumento de 14% - 22%
Parada de Veículos	Diminuição de 0% - 35%
Atrasos	Diminuição de 17% - 37%
Consumo de Combustível	Diminuição de 6% - 12%
Emissões	Diminuição da emissão de CO de 5% - 13% Diminuição da emissão de HC de 4% - 10%

Os programas Gerenciamento de Eficiência de Combustíveis nos Semáforos (FETSIM) e Controle e Vigilância Automatizada do Tráfego (ATSAC), implantados na Califórnia, apresentaram uma relação custo/benefício de 58:1<sup>7</sup> e 9,8:1<sup>8</sup>, respectivamente. Os resultados obtidos pelo ATSAC, que inclui um sistema computadorizado de semáforo, reportam:

- a redução de 13% nos tempos de viagem;
- a redução de 35% nas paradas de veículos;
- o aumento de 14% na velocidade média;
- a diminuição de 20% nos atrasos em intersecções;
- a diminuição de 12,5% no consumo de combustível;
- a diminuição de 10% nas emissões de HC e CO.

<sup>6</sup> Wilshire, R. L., "The Benefits of Computer Traffic Control," Traffic Engineering, April 1969.

<sup>7</sup> Institute of Transportation Studies, University of California, "Fuel-efficient Traffic Signal Management: Three Years of Experience, 1983 - 1985," Berkeley, CA: ITS Publications: 1986.

<sup>8</sup> Shahrzad Amiri of LACMTA, telephone interview quoting earlier studies, April 1995.

Um programa no Texas, chamado de Sincronização de Semáforo (TLS), instalou 166 sistemas de controle na fase I e um adicional de 73 na fase II. A análise do TLS mostra uma relação custo/benefício de 62:1<sup>9</sup>.

Na cidade de Abilene, foi instalado um sistema de semáforo de circuito fechado, com *hardware* e *modem* interconectados a um computador. Uma parte dos recursos necessários para o aperfeiçoamento do sistema foi subsidiada pelo programa TLS<sup>10</sup>.

A versão aperfeiçoada do sistema tinha como objetivo melhorar o fluxo do tráfego e substituir o sistema anterior, que apresentava sérios problemas de substituição de componentes. Os resultados, obtidos com a implantação do novo sistema de controle de semáforo, da cidade de Abilene<sup>11</sup>, são apresentados na tabela 6.3.

**Tabela 6.3 - Resultados do Sistema de Semáforo Aperfeiçoado de Abilene**

Tempo de Viagem	-13,8%
Velocidade	+22,2%
Parada de Veículos	-0,3%
Atrasos	-37,1%
Consumo de Combustível	-5,5%
Emissões: CO	-12,6%
HC	-9,8%
No <sub>x</sub>	-4,2%

O programa FAST-TRAC na região de Detroit, que inclui o sistema de controle adaptável de semáforo SCATS, tem demonstrado a eliminação virtual de certos tipos de acidentes<sup>12</sup>, como resultado da instalação de um sistema de gerenciamento de

<sup>9</sup> Benefits of the Texas Traffic Light Synchronization Grant Program I; Volume I, TxDOT/TTI Report #0258-1, Texas Department of Transportation, Austin, Texas, October 1992.

<sup>10</sup> Krieg, J., City of Abilene, telephone interview, November 1995.

<sup>11</sup> Evaluation Study, Buffalo Gap Road, Abilene Signal System, prepared for the City of Abilene, Texas, by Orcutt Associates, 1994.

<sup>12</sup> "Overview of the FAST-TRAC IVHS Program: Early Results and Future Plans," Brent Bair, James Barbaresso, and Beata Lamparski in *Towards an Intelligent Transport System, Proceedings of the First World Congress on Applications of Transport Telematics and Intelligent Vehicle-Highway Systems*, December 1994.

tráfego e da melhoria do sincronismo dos sinais e da geometria das vias. Os acidentes com danos diminuíram em 6%, os graves em 27%, e os gravíssimos em 100%, durante o período de estudo. No horário de pico, as velocidades aumentaram 19% e os atrasos em interseções diminuíram cerca de 30%. Durante o período de estudo, também foi registrado um aumento de 21% no número de acidentes com danos materiais. O FAST-TRAC é operacionalizado através de verbas federais.

A cidade de Toronto implantou o sistema de controle de semáforos SCOOTs em dois corredores (abrangendo 75 semáforos)<sup>13</sup>. Uma avaliação feita no período de dois meses, comparando resultados do SCOOTs em relação ao sistema anterior, demonstrou diminuições nos tempos de viagem (8%), nas paradas de veículo (22%), nos atrasos dos veículos (17%), no consumo de combustível (6%) e nas emissões de gases (monóxido de carbono 5% e hidrocarboneto 4%).

Simulações e análises prevêm que os controles adaptáveis de tráfego possam reduzir, ainda mais, os atrasos e as emissões de gases, quando instalados sob condições tecnológicas completamente favoráveis.

Em simulações que utilizaram algoritmos adaptáveis, foram observadas reduções de 20% dos atrasos, quando o tráfego divergia para níveis previstos<sup>14</sup>.

### 6.3.3. Programas de Gerenciamento de Incidentes

Os programas de gerenciamento de incidentes também seguem uma rota evolutiva para estabelecer o seu completo desenvolvimento. Frequentemente os programas de gerenciamento de incidentes tornam-se parte da tarefa de expansão dos centros de administração de rodovias. Muitos dos sistemas de gerenciamento de incidentes existentes - o Programa Auxiliar de Rodovias, em Minneapolis; o Gerenciamento de Incidentes, componente do Programa CHART, em Maryland; e o Patrulha de Emergência no Tráfego, em Illinois -, passaram a funcionar como os "olhos e ouvidos" dos motoristas, incorporando tecnologias como a de telefonia celular, detectores *loop*, e vídeo-monitoramento, de acordo com o orçamento de cada região.

<sup>13</sup> Siemens Automotive, USA, "SCOOT in Toronto," Traffic Technology International, Spring 1995.

<sup>14</sup> Glassco, R., "Potential Benefits of Advanced Traffic Management Systems," The MITRE Corporation, ITS-L-141, November, 1995.

Os programas de gerenciamento de incidentes apresentam, como resultado, melhorias nos tempos de liberação do tráfego, após um incidente, e expectativa de redução de mortes no trânsito.

**Tabela 6.4 - Programas de Gerenciamento de Incidentes - Resumo dos Benefícios.**

Tempo para Liberação do Tráfego	Diminuição de 8 minutos por incidente
Tempo de Viagem	Diminuição de 10% - 42%
Acidentes Fatais	Diminuição de 10% (em áreas urbanas)

Os programas de gerenciamento de incidentes apresentam resultados e expectativas de redução do congestionamento, ocasionado por incidentes, na ordem de 50% a 60%. O Instituto de Engenheiros de Transportes (ITE) tem estimado em torno de 10% a 42% as diminuições dos tempos de viagem, após a implantação de programas de gerenciamento de incidentes nos sistemas de gerenciamento de rodovias<sup>15</sup>.

O programa CHART, em Maryland, está desenvolvendo uma sistema de monitoramento automatizado, que inclui sensores de pista e vídeo-câmeras. Os recursos do programa são provenientes de diversas fontes, federais e estaduais<sup>16</sup>, e as expectativas são de atingir uma relação custo/benefício de 10:1<sup>17</sup>, de acordo com análises realizadas em cima do projeto.

O Programa Auxiliar de Rodovias de Minnesota<sup>18</sup> mostra a diminuição de 8 minutos, no tempo total, para a liberação do tráfego após "quebras" de veículos (o mais freqüente tipo de incidente, representando 84% das solicitações de socorro). Com base em valores confiáveis, estima-se a economia de US\$ 1,4 milhões, com a diminuição dos atrasos de viagem, para um programa com custo operacional de US\$ 600.000.

A utilização de sistemas de vídeo-monitoramento auxilia muito o processo de liberação do tráfego, após um incidente. A cidade de Richardson, Texas, instalou, através do processo de concessão rodoviária, um sistema de monitoramento que utiliza o processamento de imagens para obter informações relativas ao tráfego. Por exemplo,

<sup>15</sup> Meyer, M., ed., A Toolbox for Alleviating Traffic Congestion, Institute of Transportation Engineers, Washington, D.C., 1989.

<sup>16</sup> Points-du-Jour, J., Maryland State Highway Administration, telephone interview, November 1995.

<sup>17</sup> Kuciamba, S., Maryland State Highway Administration, telephone interview, April 1995.

<sup>18</sup> Highway Helper Summary Report - Twin Cities Metro Area, Minnesota DOT, Report # TMC 07450-0394, July 1994.

pode-se enviar um caminhão de socorros (guincho) ao local do incidente, antes da solicitação da polícia rodoviária. Essa providência reduz o tempo de resposta, para a liberação, por volta de 5 a 7 minutos, em média, e melhora sensivelmente a habilidade de seleção dos equipamentos a serem enviados para a resolução do incidente ativo<sup>19</sup>.

Além de redução dos atrasos de viagem, os programas de gerenciamento de incidentes buscam a melhoria da segurança rodoviária e da qualidade do ar. Uma análise estatística de acidentes, realizada com base em valores de rodovias da Califórnia, mostra que sem um controle de tráfego os riscos de acidentes aumentam em 600%<sup>20</sup>. De acordo com análises de projetos, baseadas em dados do Sistema de Informações de Acidentes Fatais, o tempo de notificação de um acidente em rodovia urbana é reduzido de 5,2 para 3 minutos, em média, o que significa uma redução de 10% no número de casos fatais, ou ainda um total anual de 212 vidas salvas, com a implantação de programas de âmbito nacional<sup>21</sup>.

O projeto TransGuide, de San Antonio, tem como meta a redução para dois minutos do tempo de detecção de incidentes<sup>22</sup>. Se esse objetivo for alcançado a nível nacional, um número aproximado de 308 vidas seriam salvas, anualmente.

#### 6.3.4. Sistemas Multimodais de Informação aos Viajantes

As informações sobre as condições do tráfego são muito populares entre os usuários de rodovias, e os sistemas que provêem tais informações estão produzindo dados que antecipam os benefícios de sua implantação em larga escala. Os programas de informação aos viajantes utilizam painéis com mensagens variáveis, através de *displays*, e sistemas de radio-comunicação. Estão, ainda, sendo desenvolvidos ou em fase de testes operacionais, programas que utilizam cabines (kiosks), especialmente instaladas para o fornecimento de informações, e dispositivos a bordo do veículo, com a mesma finalidade. Os sistemas de informação via telefone estão em processo de transição (do projeto piloto para a operacionalidade). Estudos têm apresentado benefícios com a redução dos

---

<sup>19</sup> Edwards, M., Lewis Wrecker Service, telephone interview, December 1995.

<sup>20</sup> Intelligent Transportation Systems Impact Assessment Framework: Final Report, Volpe National Transportation Systems Center, September 1995.

<sup>21</sup> Evanco, W., "The Benefits of Rapid Incident Detection on Accident Fatalities," The MITRE Corporation, unpublished paper.

<sup>22</sup> McGowan, P. and Irwin, P., "TransGuide Transportation Guidance System: Technology in Motion," Texas DOT, November 1995.

atrasos, dos tempos de viagem, no consumo de combustível e na emissão de gases poluentes.

O INFORM (Informação aos Motoristas) é um sistema instalado no corredor que integra Nova Iorque a Long Island e utiliza painéis com mensagens variáveis (VMSs) para o controle de entradas e saídas das rodovias principais e arteriais. O programa amplia e aperfeiçoa conceitos estudados na década de 70, e teve sua completa implementação no início da década de 90.

**Tabela 6.5 - Sistemas de Informação aos Viajantes-Resumo dos Benefícios**

Tempo de Viagem	Diminuição de 17 minutos (20%) em condições de incidentes Diminuição de 8% - 20% para veículos equipados
Atrasos	Decrescem (1.900 veículos/hora a mais por incidente)
Consumo de Combustível	Diminuição de 6% - 12%
Emissões	Diminuição da emissão de CO de 25% Diminuição da emissão de HC de 33% Diminuição da emissão de NO <sub>x</sub> de 1,5%

As estimativas de economia de tempo, durante um incidente, com a instalação de sistemas de informações aos viajantes<sup>23</sup> são de aproximadamente 1.900 veículos (a mais) passantes por hora, para um período de pico do incidente, e cerca de 300.000 veículos estariam livres de congestionamentos, anualmente. A frequência dos acidentes diminuiu ligeiramente durante o estudo, mas os dados eram insuficientes para se determinar uma tendência significativa.

O projeto Viajante Inteligente, de Los Angeles, instalou 78 cabines de informação em diversas localizações<sup>24</sup>. O número de acessos diários varia de 20 a 100, funcionando 20 horas por dia, sendo a solicitação por mapas rodoviários a mais freqüente (83% dos usuários). Em uma pesquisa realizada com os usuários, o sistema teve um ótimo índice de aceitação.

Um sistema automatizado de informação sobre o trânsito, implementado pelo Departamento de Transportes Rochester-Genesee, resultou em um aumento de

<sup>23</sup> Smith, S. and Perez, C. "Evaluation of INFORM - Lessons Learned and Application to Other Systems," presented at 71st transportation Research Board Annual Meeting, January 1992.

<sup>24</sup> Giuliano, G., Golob, J., and Hall, R., "Los Angeles Smart Traveler Information Kiosks," presented at the 74th Transportation Research Board Annual Meeting, January 1995.

80%<sup>25</sup> no volume de chamadas, enquanto um sistema instalado pelo Departamento de Nova Jersey reduziu o tempo de espera, para o atendimento ao usuário, de 85 para 27 segundos, em média, aumentando com isso o número total de atendidos<sup>26</sup>. O programa SmarTraveler, em Boston, apresentou um aumento de 138% no número de solicitações, de outubro de 1994 (data da implantação do sistema) até outubro de 1995, quando foram registradas 244.182 chamadas. O sistema foi implantado em parceria com o provedor de serviço de telefonia celular local<sup>27</sup>.

O programa Travlink (em fase de testes operacionais), de Minneapolis, distribuiu 315 terminais de computador e vídeo-texto aos usuários do sistema rodoviário. O sistema fornecia informações como rotas do trânsito, horários de ônibus, incidentes e obras na rodovia<sup>28</sup>. Durante o mês de julho 1995, foram registrados 1660 acessos ao sistema. Adicionalmente, três cabines (kiosks) instaladas no centro da cidade, e que oferecem informações semelhantes, registraram uma média mensal de 71 acessos por dia útil, entre janeiro e julho de 1995. As solicitações mais frequentes estão relacionadas a dados do tráfego, em tempo real, e horários de ônibus.

Pesquisas realizadas nas regiões de Seattle (Washington) e Boston (Massachusetts), indicam que de 30% a 40%<sup>29</sup> dos viajantes freqüentemente ajustam seus padrões de viagem baseados em sistemas de informações aos viajantes. Desses, cerca de 45% alteram a rota, 45% o horário e de 5% a 10% o modo de viagem, de acordo com as informações obtidas.

Assumindo que 30% das 96.000 solicitações de informação diárias (em Boston), impliquem mudanças de planejamento de viagens, o programa SmarTraveler, utilizando o modelo MOBILE5a, executou o cálculo dos impactos nas emissões atmosféricas. O resultado apresentou uma redução diária de 498 kg de combinações orgânicas voláteis, 25 kg de óxidos de nitrogênio e 5.032 kg de monóxido de carbono, o que significa uma diminuição de 25%, 1,5%, e 33%, respectivamente, destes contaminantes. As reduções citadas foram levantadas em relação a 28.800 usuários do

---

<sup>25</sup> USDOT, FTA, APTS Benefits, November 1995.

<sup>26</sup> "NJ Transit's Customer Information Speeded Up by New System," Passenger Transport, January 24, 1994.

<sup>27</sup> SmartRoute Systems Memorandum, "SmarTraveler Update," November 6, 1995.

<sup>28</sup> Remer, M., Atherton, T., and Gardner, W., ITS Benefits, Evaluation and Costs: Results and Lessons from the Minnesota Guidestar Travlink Operational Test, Draft, November 1995.

<sup>29</sup> Air Quality Benefit Study of the SmarTraveler Advanced Traveler Information Service, Tech Environmental, Inc., July 1993.

sistema rodoviário, e mostra os números que poderiam ser atingidos nessa região, que conta com 2,9 milhões de motoristas registrados.

Simulações realizadas pelo programa Architecture produziram indicações dos potenciais benefícios dos ATIS<sup>30</sup>. Para redes rodoviárias, onde o congestionamento aumenta em 3 vezes o tempo de viagem, veículos equipados obtiveram uma economia de tempo da ordem de 8% - 20%, com pré-informações a respeito do nível de saturação das vias.

Outro estudo de simulação prevê que, para rodovias que possuam sistemas de gerenciamento de incidentes, as pré-informações de viagem poderiam alcançar uma economia de 15% no tempo de viagem<sup>31</sup>.

Estudos indicam ainda o interesse em informações do tráfego por parte dos usuários. Pesquisas feitas pelo Projeto Kiosk de Informação aos Viajantes<sup>32</sup>, de Atlanta, mostram que 92% a 98% dos entrevistados manifestaram a conveniência de informações sobre acidentes, rotas alternativas, fechamento do tráfego de rodovias e congestionamentos.

Pesquisas feitas no município de Marin, Califórnia, mostram que, tendo acesso às informações sobre rotas alternativas e seus previsíveis tempos de viagem, 69% dos motoristas (usuários regulares de determinadas rotas) alterariam sua rotina e com isso obteriam um ganho de 17 minutos, em média<sup>33</sup>. Um projeto piloto da Holanda constatou 40% de desvios de rota, em função de informações do tráfego, por 300 veículos equipados com receptores especiais<sup>34</sup>.

---

<sup>30</sup> Wunderlich, K. "Con Route Guidance Benefits Assessment," The MITRE Corporation, letter ITS-L-131, October 1995.

<sup>31</sup> Wunderlich, K., "Trip Planning User Service Benefits Assessment," The MITRE Corporation, letter ITS-L-131, November

<sup>32</sup> "Advanced Traveler Information Kiosk Project: Summary Report - Focus Groups," Catherine Ross and Associates, Inc., undated.

<sup>33</sup> Khattak, A., Kanafani, A., and Le Colletter, E., "Stated and Reported Route Diversion Behavior: Implications on the Benefits of ATIS", University of California - Berkeley, UCB-ITS-PRR-94-13, 1994.

<sup>34</sup> Broeders, W. P. B., "RDS/TMC as Traffic Management Tool and Commercial Product," Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Transportation Systems, Yokohama, Japan, November 1995.

### 6.3.5. Sistemas de Gerenciamento do Trânsito

Por aproximadamente uma década, os sistemas de localização de veículos, que abrangem diversas tecnologias<sup>35</sup>, têm sido utilizados pelos órgãos responsáveis pelo trânsito, em diversas localidades. Um recente estudo<sup>36</sup>, feito junto aos departamentos de trânsito norte-americanos, identificou 24 sistemas de trânsito, que operam mais de 10.000 veículos, sobre supervisão de sistemas AVL (localização automática de veículos) e outros 31 em fase de implementação. A maioria dos sistemas utiliza tecnologia GPS na localização de veículos.

Cinco operadoras de trânsito canadenses estão utilizando sistemas AVL, o que implica o controle de 3.700 ônibus e 2.300 caminhões. Acoplados a sistemas computadorizados de comunicação e transmissão de dados, os sistemas de localização de veículos demonstram melhorias relacionadas com segurança, tempos de viagem, confiabilidade dos serviços, e eficiência de custos.

Adicionalmente, diversas operadoras de trânsito informam o auxílio dos sistemas AVL (Automatic Vehicle Location) na solução de incidentes relacionados a conflitos entre as empresas de transportes e seus motoristas.

**Tabela 6.6 - Sistemas de Gerenciamento do Trânsito-Resumo dos Benefícios**

Tempo de Viagem	Diminuição de 15% a 18%
Confiabilidade dos serviços	Aumento de 12% a 23% no desempenho <i>on-time</i>
Seguridade	Diminuição para menos de um minuto dos tempos de resposta a incidentes
Eficiência de custos	45% ao ano de retorno de investimento

Seguridade e segurança são os principais fatores para a decisão de instalar sistemas de gerenciamento de trânsito. Os benefícios adquiridos pela implantação de sistemas AVL e de comunicações, como parte dos sistemas de gerenciamento do trânsito, incluem os serviços de emergências médicas e também os serviços policiais. Alguns departamentos de trânsito rodoviário reportam tempos de resposta a incidentes

<sup>35</sup> Jones, W., ITS Technologies in Public Transit: Deployment and Benefits, USDOT ITS Joint Program Office, November 1995.

<sup>36</sup> Casey, R. et. al., Advanced Public Transportation Systems: The State of the Art - Update '96, USDOT FTA, January 1996.

menores que um minuto; outros, uma redução de 40% nesses tempos e, ainda, a melhoria da cooperação entre os mesmos e a polícia rodoviária. As empresas de transporte declaram também o aumento da sensação de segurança produzida pelos sistemas AVL<sup>37</sup>.

Os sistemas AVL e os de comunicação aprimoram diretamente a pontualidade dos serviços. O Departamento de Trânsito de Baltimore relata uma melhoria de 23% dos desempenhos de tempo dos ônibus equipados com sistemas AVL. A Administração dos Transportes de Kansas relata uma melhoria de 12% no desempenho *on-time* no primeiro ano de operação dos sistemas, comparada a uma melhoria de 7% como resultado de esforços coordenados entre os anos de 1986 e 1989. Resultados preliminares de Milwaukee indicam uma diminuição de 28% no número de ônibus que atrasam mais de um minuto<sup>37</sup>. A coordenação entre sistemas de trânsito e sistemas de semáforo também demonstram benefícios operacionais. Testes realizados em Portland<sup>38</sup> indicam que com o aumento dos tempos de verde ou diminuição dos tempos de vermelho, em alguns segundos, consegue-se uma diminuição do tempo total de viagem de 5% a 8%.

Um sistema AVL provê uma excelente fonte de dados, para a análise das operações de ônibus. Dados coletados na cidade de Kansas conduziram a uma revisão dos horários, o que reduziu em 7 o número de veículos de uma frota de 200 e em 10% do total do tempo de viagem. A Administração dos Transportes de Kansas informa uma economia de US\$ 0,5 milhões anuais com despesas operacionais, baseada em investimentos da ordem de US\$ 1.1 milhão, com a implantação de sistemas de controle do trânsito. Outros departamentos relatam reduções de 2% a 5% no tamanho de frotas, devido à eficiência da utilização dos ônibus<sup>39</sup>.

Com a utilização dos dados obtidos por sistemas AVL, pretende-se também reduzir o custo com pesquisas relacionadas aos tempos de viagem. Estimativas apontam uma economia de US\$40.000 por pesquisa para um montante de \$1,5 milhão anual<sup>40</sup>.

---

<sup>37</sup> Jones, W., ITS Technologies in Public Transit: Deployment and Benefits, November 1995.

<sup>38</sup> Kloos, W., et al., Bus Priority at Traffic Signals in Portland, ITS Annual Meeting, March 1995.

<sup>39</sup> Jones, W., ITS Technologies in Public Transit: Deployment and Benefits, November 1995.

### 6.3.6. Sistemas Eletrônicos de Pedágio (ETC)

Os Sistemas Eletrônicos de Cobrança de Pedágio estão em operação em diversas localidades dos Estados Unidos<sup>41</sup> e em diversos países como França, Alemanha, Grã-Bretanha, Itália, Japão, Noruega, Suécia, Suíça e Brasil, entre outros, objetivando reduzir os congestionamentos (aumentando, com isso, a capacidade viária), melhorar a qualidade do ar, reduzir os custos operacionais e facilitar o processo de cobrança de pedágio.

**Tabela 6.7 - Sistemas de Cobrança Eletrônica de Pedágio-Resumo dos Benefícios**

Custos Operacionais	Diminuição de 90%
Capacidade da rodovia	Aumento de 250%
Consumo de combustível	Diminuição de 6% a 12%
Emissões	CO - diminuição de 72% por milha envolvida HC - diminuição de 83% por milha envolvida NO <sub>x</sub> - diminuição de 45% por milha envolvida

O Posto de pedágio de Oklahoma, Pike Pass, tem operado através de cobrança eletrônica durante mais de quatro anos com resultados excelentes, incluindo a recolocação de pessoal dispensado para outros setores<sup>42</sup>.

Os resultados do Posto incluem [87]:

- Produtividade:
  - Custo anual para operar pista convencional - US\$176.000;
  - Custo anual para operar pista automatizada - US\$15.800;
  - Redução do custo operacional anual - taxa de 11 para 1.

<sup>40</sup> USDOT, FTA, APTS Benefits, November 1995.

<sup>41</sup> Gallagher, M., IBTTA, telephone interview, November 1995.

<sup>42</sup> Oklahoma Turnpike Authority - Pike Pass Facts, undated.

### Segurança:

- Redução dos acidentes a zero (no final do primeiro ano de implantação), comparado aos 71 acidentes anuais, registrados anteriormente, nas pistas com cobrança de pedágio convencional.
- Congestionamentos:
  - Redução de 1 milhão de horas anuais, com o tempo perdido nos congestionamentos.
- Poluição Atmosférica:- Poluentes: HC - taxa de redução de 6 para 1;
- CO - taxa de redução de 4 para 1;
- No<sub>x</sub> - taxa de redução de 2 para 1.

A cobrança de pedágio eletrônica pode melhorar substancialmente o processamento, na rodovia, se comparada com as cobranças manuais. Na praça de pedágio Tappan Zee Bridge, New York, uma pista com cobrança manual pode acomodar 350 - 400 veículos por hora, enquanto as com cobrança eletrônica alcançam a marca de 1000 veículos por hora. Substituindo oito pistas com cobrança manual por cinco pistas eletrônicas, e implementando um sistema de barreira móvel para permitir uma pista de direção alternativa, a velocidade de tráfego aumentou significativamente<sup>43</sup>. Aproximadamente 110.000 etiquetas de pedágio eletrônicas estavam, na época, sendo utilizadas pelo Posto de pedágio.

O programa de cobrança eletrônica de pedágio de Oklahoma começou a operar em 01/01/1991 e, em junho de 1994, tinham sido emitidas 250.000 credenciais para a utilização do sistema. A *Clean Air Action Corp.*<sup>44</sup> calculou as emissões de gases, nos boxes de pedágio, baseando-se em testes de dinamômetro e observações *in loco*, nos postos de Muskogee (Oklahoma), Asbury (Nova Jersey) e Western (Massachusetts). Um resumo dos resultados é mostrado na tabela 8. [38]

<sup>43</sup> Zimmerman, M., New York State Thruway Authority, telephone interview, December 1995.

<sup>44</sup>"Proposed General Protocol for Determination of Emission Reduction Credits Created by Implementing an Electronic Pike Pass System on a Tollway", Clean Air Action Corporation study for the Northeast States for Coordinated Air Use Management, December 1993.

Tabela 6.8 - Cálculo da redução de Emissões com o Uso do ETC

Perfil da Velocidade (mph)	65-0-65	65-30-65	65 constante
	Box de Pedágio	Passagem Limitada	Passagem Livre
HC	1,2 g/milha	1.0 g/milha	0,2 g/milha
No <sub>x</sub>	1,1 g/milha	0,9 g/milha	0,6 g/milha
CO	30,6 g/milha	20,0 g/milha	8,5 g/milha
<b>Aumento Percentual (por milha de rodovia)</b>			
HC	500%	400%	0%
No <sub>x</sub>	83%	50%	0%
CO	260%	135%	0%
<b>Redução das Emissões (toneladas/ano, posto de New Jersey)</b>			
HC	0	161	596
No <sub>x</sub>	0	126	290
CO	0	6414	12681

#### 6.4. ANÁLISE DA SITUAÇÃO BRASILEIRA

Os sistemas inteligentes de transportes começaram a ser aplicados no Brasil, na metade da década de 80, quando a Secretaria de Transportes do estado de São Paulo providenciou, em 50 quilômetros de rodovias estaduais, a implantação de sistemas de gerenciamento de incidentes, controlados por uma central de operações.

O processo de privatização das rodovias brasileiras está em execução, e os editais de concorrência, por exigência do DNER, prevêm a criação de departamentos que controlem todos os dados do tráfego, do sistema rodoviário em questão, a qualquer momento, em tempo real.

Diversos sistemas de controle de tráfego e de cobrança eletrônica de pedágio estão sendo implantados nas rodovias federais, que representam 90% do total das rodovias brasileiras.

Em determinadas áreas urbanas, são utilizados sistemas de gerenciamento de tráfego e de informação aos viajantes, que incluem radares eletrônicos, circuitos de televisão, fax, internet, telefones de emergência e serviços de socorro a acidentes.

Existe o projeto de instalação do sistema SCOOT em 1.500 intersecções da cidade de São Paulo. No Rio de Janeiro, juntamente com o sistema de cobrança

eletrônica de pedágio da Ponte Rio-Niterói, funciona o Centro de Controle Operacional (CCO), com um circuito fechado de televisão, com seis monitores de TV, que fornecem imagens de excelente definição, captadas por 20 câmeras instaladas nos pórticos de sinalização, sendo quatro apenas no vão central. O sistema é capaz de captar, armazenar e processar imagens dos veículos que utilizam as áreas envolvidas por ele, acelerando os serviços de socorro médico e mecânico, e orientando os motoristas em casos de acidentes e de congestionamentos. Existem, ainda, painéis eletrônicos, com 200 mensagens pré-gravadas, que fornecem informações aos motoristas sobre as condições do tráfego.

**Tabela 6.9 - Exemplo de Resultados Obtidos com a Implantação de Sistemas Inteligentes de Transportes (Brasil)**

Tempo de Viagem	Diminuição de 15% a 18% (Rio de Janeiro)
Número de Acidentes com Mortes	Diminuição de 24% (Brasília)
	Diminuição de 16% (Campinas)
	Diminuição de 14% (São Paulo)
	Diminuição de 09% (Curitiba)

Fonte: Revista Veja (18/06/97)

**CAPÍTULO 7 - A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DO CONTROLE  
RODOVIÁRIO: DIAGNÓSTICO DOS SISTEMAS**

## **7. A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DO CONTROLE RODOVIÁRIO: DIAGNÓSTICO DOS SISTEMAS**

### **7.1. INTRODUÇÃO**

Neste capítulo enfocam-se os ATMS, os ATIS, os ACAS, o AHS, e os ITS como um todo, visando aos aspectos principais que determinam o sucesso da implantação dos mesmos, e o que tem-se aprendido com os estudos (pesquisas, testes operacionais etc.) e com a implementação de programas ITS.

### **7.2. COM RELAÇÃO AO PROCESSO DE AVALIAÇÃO DOS ITS**

#### **7.2.1. A Necessidade da Avaliação**

Um eficiente gerenciamento do tráfego e a oferta de serviços adequados aos usuários são necessários, visando a otimização das redes rodoviárias existentes e a melhoria do nível de serviço das diferentes categorias de rodovias. Com este objetivo, diversas redes rodoviárias estão sendo incrementadas com moderna infra-estrutura de telecomunicações, centros de controle de tráfego e equipes operacionais permanentes.

Dispositivos de informação e alerta, sistemas de comunicação (instalados na rodovia e a bordo dos veículos), equipamentos para o controle de veículos, entre outros, estão sendo desenvolvidos, com o intuito de auxiliar os motoristas e aumentar a segurança e o conforto das viagens rodoviárias. Crescem também os investimentos e o interesse, por parte das indústrias e da economia como um todo, no aprimoramento do setor rodoviário. Esses aspectos são compartilhados pelas autoridades públicas e pelo setor privado, resultando em benefícios aos motoristas e usuários das rodovias.

No sentido de favorecer as mencionadas evoluções, são necessárias diversas ferramentas e metodologias, para avaliar com precisão o desempenho das operações de tráfego e o impacto dos serviços oferecidos.

As análises mercadológicas e de relação custo/benefício devem detalhar o nível de envolvimento de cada setor e a cooperação entre os diferentes parceiros do processo de implantação dos serviços e dos sistemas inteligentes de transportes.

### **7.2.2. Tipos de Avaliação**

Em função do acima descrito, as seguintes etapas do processo de avaliação foram identificadas:

- A avaliação técnica do desempenho dos sistemas, assegurando a melhor adequação de cada componente do sistema à sua função específica;
- A avaliação da aceitação pública, através do levantamento das reações dos usuários e operadores do sistema rodoviário;
- A avaliação sócio-econômica, transformando as conclusões, a respeito dos impactos e desempenho dos sistemas, em relações custo/benefício;
- A avaliação mercadológica e financeira, necessária para a tomada de decisão, a respeito das operações rodoviárias e as de telecomunicações.

### **7.2.3. Métodos de Avaliação**

Para a realização das avaliações, diferentes métodos têm sido desenvolvidos, em diversos países, métodos esses que variam de acordo com a qualidade dos estudos efetuados, como segue:

- **MEDIÇÃO:** apresenta resultados conseqüentes de medidas de campo, através de estudos de engenharia.
- **ESTIMAÇÃO:** apresenta soluções, através de estimativas feitas por pessoas diretamente envolvidas com o projeto de implementação dos sistemas.
- **PREDIÇÃO:** apresenta resultados de análises e de simulações, que funcionam como ferramentas de avaliação dos impactos da implantação dos ITS, quando as

experiências de campo não são exequíveis, ou quando os projetos não têm alcance suficiente para determinar o impacto dos sistemas.

A maioria dos estudos de avaliação existentes está baseada em estimativas e predições, devido às dificuldades de realização de medidas apropriadas e também ao fato de alguns sistemas existentes não estarem completamente implantados.

#### 7.2.4. Estudos Realizados

- Na Europa, em 1992, o "EVA" foi o primeiro estudo a propor uma completa estrutura da avaliação sócio-econômica dos ITS<sup>1</sup>.
- O "CORD", em 1994, iniciou uma série de estudos sobre aplicações específicas, onde são analisados os aspectos da segurança, da eficiência, do conforto e da poluição, com a implantação dos ITS<sup>2</sup>.
- O "CONVERGE", em 1996, contribuiu com as primeiras recomendações para a elaboração de um plano de confirmação dos objetivos dos ITS e das necessidades dos usuários, através de análises sistemáticas<sup>3</sup>.
- Na França, o SETRA (Ministério dos Transportes) e as associações rodoviárias providenciaram uma melhor adaptação dos métodos de avaliação dos sistemas rodoviários operacionais e dos serviços de informação existentes<sup>4</sup>.
- No Reino Unido, o Departamento de Transportes e o TRL (Laboratório de Pesquisas para os Transportes) realizam profundos estudos para a avaliação dos benefícios potenciais da telemática aplicada ao transporte rodoviário<sup>5</sup>.
- Nos Estados Unidos, a FHWA e o Departamento de Programas ITS empreenderam diferentes estudos para estimar e aprimorar os benefícios das aplicações dos ITS<sup>6</sup>.

---

<sup>1</sup> The EVA framework - R. Robiger - 1992.

<sup>2</sup> Guidelines for assessment of transport telematics applications in urban traffic management and information - CORD - October 1994.

<sup>3</sup> Guidebook for assessment of transport telematics applications - CONVERGE - March 1996.

<sup>4</sup> Conception et évaluation des systèmes d'aide à l'exploitation routière - ASFA - Mars 1996.

<sup>5</sup> Review of the potential benefits of road transport telematics - TRL - December 1996.

<sup>6</sup> Review of ITS benefits: Emerging successes - FHWA, ITS Joint Program Office - September 1996.

Os principais estudos realizados fornecem a idéia dos impactos e benefícios (economias nos tempos de viagem, redução dos acidentes e mortes no trânsito, análise da aceitação pública etc.) propiciados pelos ITS.

A análise da relação custo/benefício tem apontado, quase sempre, resultados positivos, e os veredictos sobre os resultados da implantação dos ITS são, geralmente, bastante otimistas.

Grande parte dos estudos citados está baseada em perspectivas, em função da escassez de aplicações com operacionalidade completa; conseqüentemente, apresentam resultados apenas parciais. São construídos cenários hipotéticos para a validação dos impactos causados pelos sistemas e serviços ITS. Existem algumas estruturas metodológicas desenvolvidas, mas consideradas de aplicação muito recente para serem cientificamente comprovadas. Mundialmente, estão sendo realizadas diversas pesquisas para o desenvolvimento de melhores ferramentas de avaliação, adaptadas às operações de tráfego e aos serviços oferecidos aos usuários.

### **7.3. COM RELAÇÃO AOS ATMS**

Numerosas questões têm sido levantadas, tais como: a melhor maneira de se gerenciar o tráfego, as funções integradas de uma central de controle e a coordenação entre as centrais de controle adjacentes. Nos últimos anos, as pesquisas, os testes operacionais e a implantação de centrais de controle de tráfego forneceram respostas relacionadas aos seguintes temas:

- **Fluxo do Tráfego:**

Devido às pesquisas e aplicações de modelos existe, hoje em dia, uma melhor compreensão a respeito da teoria do fluxo do tráfego, ou seja, um conhecimento mais aprofundado dos fatores humanos, da quantificação do consumo de combustível, das emissões atmosféricas e da previsão da demanda.

- **Vigilância:**

Embora existam reconhecidos benefícios com a implantação de avançados sistemas de vigilância do tráfego (sistemas de vídeo-monitoramento, por exemplo), a sua utilização, substituindo os sistemas detectores *loop* básicos, ainda não está completamente consolidada.

As restrições e deficiências dos detectores *loop* continuam sendo um grande problema. Com isso, os sistemas de vídeo-monitoramento apresentam-se como uma promissora alternativa; a sua taxa de falhas a longo-prazo, porém, continua sendo avaliada, ou seja, devido ao pouco tempo de implantação dos sistemas, não existem estatísticas totalmente confiáveis para a sua determinação<sup>7</sup>.

- **Modelação da Rede:**

Novas técnicas de modelação vêm sendo desenvolvidas, visando ao controle de complexas redes de tráfego ao invés de soluções pontuais. Diversos modelos, já disponíveis e postos em prática pela FHWA, apresentam a diminuição de custos e de tempo no processo de implementação dos ATMS.

- **Detecção de Incidentes:**

Nos últimos anos o estado-da-arte da detecção de incidentes tem progredido sensivelmente. Estão sendo desenvolvidos algoritmos com a capacidade de reduzir a taxa de alarmes falsos e, simultaneamente, diminuir o tempo de detecção de incidentes reais.

---

<sup>7</sup>Booz-Allen and Hamilton, Inc., *Field Operational Tests Lessons Learned*, prepared for FHWA, May 6, 1996.

- **Estratégias de Controle de Tráfego:**

Um algoritmo simples não suporta a implementação de estratégias de controle, para complexas redes de tráfego. Em vez disso, necessita-se de uma plataforma flexível, que acomode as diferentes situações de controle nas diversas porções da rede. Uma questão que perdura é a que diz respeito à coordenação desses algoritmos, em relação aos limites da rede.

- **Centro de Gerenciamento de Tráfego:**

As jurisdições devem possuir diversos fornecedores de equipamentos, para que haja a integração entre os produtos componentes de um centro funcional de gerenciamento. Com isso, o processo de manutenção é facilitado. Por exemplo, um equipamento que necessite reparo pode ter um (ou mais) de seus componentes substituído por produtos de marca diferente da original, diminuindo com isso o tempo e, possivelmente, os custos de manutenção.

- **Pesquisa e Desenvolvimento:**

Devido à sofisticação que envolve os produtos e as tecnologias dos ATMS, é necessário que os mesmos sejam submetidos a rigorosos testes de campo, para que a sua disponibilidade potencial de melhoria das operações seja assegurada, antes da sua incorporação às práticas padrão. Esse procedimento faz com que as tecnologias aprovadas sirvam de trampolim para o avanço contínuo do estado-da-arte dos ATMS.

- **Supervisão:**

A utilização dos *tags* (os mesmos utilizados na cobrança eletrônica de pedágio) para medições do fluxo de tráfego tem demonstrado a sua viabilidade técnica e

econômica. O município de Houston, através do seu centro de gerenciamento, vem explorando com sucesso essa técnica.

- **Tecnologia Celular:**

Testes operacionais demonstram que a tecnologia da telefonia celular pode ser utilizada no controle do posicionamento e da velocidade dos veículos. Entretanto, para medições do fluxo de tráfego, essa tecnologia requer pesados investimentos na infra-estrutura viária, o que pode tornar sua implementação economicamente inviável.

- **Fatores Humanos<sup>8</sup>:**

Pesquisas feitas com simuladores têm identificado alguns dos parâmetros de interação entre a automatização e o desempenho do operador do centro de gerenciamento. Por exemplo, resultados indicam que ao utilizarem o Sistema de Identificação e Localização de Incidentes (IDLS), os operadores têm um desempenho superior ao das operações manuais.

#### 7.4. COM RELAÇÃO AOS ATIS

- **Dispositivos de Bordo:**

Testes operacionais têm demonstrado que dispositivos de bordo, como mapas digitais, GPS, aparelhos para cálculo de posição e tecnologias de SIG (Sistema de Informações Geográficas) são tecnicamente viáveis e que, quando propriamente projetados e instalados, não afetam a segurança do veículo (devido a distrações do motorista).

---

<sup>8</sup> The material on human factors was supplied by HSR-30 staff at FHWA's Turner Fairbank Highway Research Center.

- **Benefícios e Impactos no Comportamento do Motorista:**

As informações fornecidas pelos ATIS podem ter sua utilidade limitada se os motoristas não reagirem a elas com interesse. Entretanto, pesquisas operacionais realizadas em Houston<sup>9</sup> indicam que 53% dos participantes alteram, em algum aspecto, o seu comportamento (relacionado com a viagem) em função de informações obtidas em tempo-real. Cerca de 33% dos pesquisados relataram que, durante o deslocamento, mudaram de rodovia, reagindo a informações sobre o tempo de deslocamento por rotas alternativas e sobre a ocorrência de incidentes nas rodovias onde trafegavam.

Resultados de modelos indicam que a implantação dos ATIS, abrangendo os apropriados componentes de infra-estrutura inteligente de transportes (ITI), pode reduzir de 30% a 50% o tempo de atraso de viagens.

- **Aceitação Pública:**

Os viajantes têm sido bastante receptivos aos dispositivos (de informações) de bordo.

O preço médio dos equipamentos utilizados em testes operacionais gira em torno de US\$ 1.000<sup>(10)</sup>. Diversos dispositivos já estão disponíveis comercialmente; entretanto, ainda não está determinado o valor que os usuários estariam dispostos a pagar para equipar seus próprios veículos.

Resultados mostram, ainda, que os usuários costumeiros de uma determinada rede rodoviária (e que tenham dela informações), preferem elaborar suas próprias rotas, ao invés de utilizarem as propostas pelos dispositivos de bordo, e demonstram um alto interesse por informações, em tempo-real, sobre o tráfego.

---

<sup>9</sup>Gerald L. Ullman, Kevin N. Balke, William R. McCasland, and Conrad L. Dudek, *Benefits of Real-Time Travel Time Information in Houston*, Intelligent Transportation Systems of America 1996 Annual Meeting, April 15-18, 1996, preprint of paper 100, page 3.

<sup>10</sup>USDOT, *Technical Summary, TravTek Operational Test Evaluation Final Reports*, FHWA&shy; RD-96-037, March 1996.

Existem diversas alternativas de fornecimento de informações aos viajantes<sup>11</sup>. São necessárias pesquisas para determinar a mais apropriada, de acordo com cada situação específica.

- **Fatores Humanos:**

O princípio mais importante, que guia o material recebido a bordo dos veículos, está na consistência das informações e na sua fiel correspondência aos eventos da rede rodoviária.

Experimentos têm resultado na elaboração de projetos que orientam as operações e comportamentos das pessoas envolvidas com o sistema rodoviário (motoristas, operadores etc.), em função da implantação dos ATIS<sup>12</sup>.

## 7.5. COM RELAÇÃO AOS ACAS

Estudos sobre a implantação de programas dos ACAS fornecem o seguinte diagnóstico:

- **Interpretação das Colisões:**

Atividades preliminares consistiram na análise dos eventos que precipitam a colisão dos veículos. Além das estatísticas disponíveis, um conhecimento maior dos dados sobre os acidentes tem sido obtido. Foram realizadas análises completas de arquivos de acidentes e, como resultado, existe, atualmente, uma maior compreensão sobre os tipos de colisão e os eventos que as provocam.

---

<sup>11</sup>Joseph L. Schofer, Frank S. Koppelman, and William A. Carlton, *Familiar Driver Perspectives on ADVANCE and Future Dynamic Route Guidance Systems*, May 21, 1996.

<sup>12</sup>Paul Green et al, *Preliminary Human Factors Design Guidelines for Driver Information Systems*, FHWA-RD-94-087, December 1995.

- **Benefícios Provenientes da Prevenção de Colisões:**

A avaliação dos sistemas de prevenção de colisões indica o seu potencial, no que se refere à diminuição do número de acidentes rodoviários. Resultados mostram um decréscimo de 17%, o que significa redução de 1,1 milhão de acidentes, anualmente, equivalendo a uma economia, também anual, de U\$ 25 bilhões.

Esses números incluem apenas danos materiais e não economias devidas à prevenção de acidentes com vítimas, ou com mortes<sup>13</sup>.

- **Tecnologias da Prevenção de Colisões:**

Os sistemas de prevenção de colisões devem estar adaptados às diversas situações de tráfego, às condições climáticas e à geometria da via.

Consiste, como fundamento básico, na habilidade do sistema de diferenciar situações de colisão potencial ou iminente. Além disso, os motoristas devem ser avisados da possibilidade de colisão, de uma maneira que não desvie sua atenção da direção.

Embora algum progresso tenha sido alcançado e as viabilidades técnicas demonstradas, os sistemas necessitam de um maior desenvolvimento, com o intuito de tornar as tecnologias existentes comercialmente atrativas aos usuários.

- **Técnicas de Simulação:**

Técnicas experimentais, para o estudo do prevenção de colisões, são de difícil execução, devido ao risco que envolvem os envolvidos com os experimentos.

As simulações são feitas através da coleta de informações de dados de situações propostas. Comparam-se os desempenhos dos motoristas que tenham à sua

---

<sup>13</sup>NHTSA Presentation by Deputy Administrator Philip R. Recht at ITS America Annual Meeting, April 1996.

disposição sistemas de prevenção de colisões, com os que atuam em condições básicas, sem os sistemas.

O principal desafio consiste na extrapolação dos resultados simulados para benefícios em condições reais de utilização dos sistemas.

## **7.6. COM RELAÇÃO AOS AHS**

Quando o programa AHS teve início, foram consideradas diversas opções para a implementação do sistema. Existiam questões sobre a viabilidade de relacionar os requerimentos do sistema com o estado-da-arte da tecnologia e, também, dúvidas sobre a magnitude dos benefícios projetados. Uma série de sistemas precursores, análises e avaliações de conceitos, relativos ao AHS, tem fornecido respostas às seguintes questões:

- **Benefícios:**

Os benefícios relacionados com o aumento da capacidade da rodovia, a melhoria da qualidade do ar, e a segurança do sistema rodoviário já foram comprovados com os testes de viabilidade técnica dos AHS.

As operações do trânsito e as comerciais podem ser identificadas como as primeiras beneficiadas com a implantação dos AHS. As viagens rodoviárias tornam-se mais atrativas, devido à segurança e ao tempo de viagem confiável. As frotas de caminhões, em forma de comboio, funcionam de maneira similar aos trens, com maior flexibilidade em relação à rota e aos destinos.

- **Distribuição de Inteligência:**

Uma melhor compreensão na distribuição de inteligência entre os veículos e a infra-estrutura viária, para sistemas rodoviários automatizados, tem sido obtida. Sistemas com a infra-estrutura completamente controlada estão sendo descartados, ou

seja, parte da inteligência (controle automatizado) fica a cargo dos veículos. Por exemplo, os veículos devem ter a capacidade de detectar e interagir com os demais. Entretanto, a infra-estrutura pode fornecer assistência global às operações de ajuste dos veículos à via e às de controle do fluxo de tráfego<sup>14</sup>.

- **Pistas Exclusivas:**

Para a aquisição máxima dos benefícios e desempenho, necessita-se que as pistas sejam exclusivas para a operação automatizada. Entretanto, as tecnologias dos AHS devem acomodar veículos automatizados e comuns, pois a transição, dos atuais sistemas rodoviários para a automatização completa, deve ser feita gradualmente<sup>9</sup>.

- **Barreiras Físicas:**

As barreiras físicas têm sido consideradas como o melhor método de separação entre as pistas automatizadas e as de condução manual do veículo. Contudo, a segurança e a capacidade das vias, quanto à ocupação, são diminuídas com a presença das barreiras.

- **Aceitação:**

Simulações, realizadas pela Universidade de Iowa, indicaram que motoristas de várias idades sentiram-se confortáveis ao trafegarem em velocidades altas (95 mph) nas rodovias automatizadas, mas demonstraram preferência por distância entre os veículos maior que a de um metro, proposta na simulação<sup>15</sup>.

---

<sup>14</sup>National Automated Highway System Consortium, *Automated Highway System (AHS) WBS C1 Draft Final Report*, February 16, 1996.

<sup>15</sup>USDOT, *Human Factor Aspects of Transferring Control from the Driver to the AHS with Varying Degrees of Automotation*, FHWA-RD-95-108, 1995.

- **Tecnologia AHS:**

A detecção de obstáculos (animais, rochas etc.) representa o principal desafio técnico para a implementação dos AHS. Diversas pesquisas, relacionadas com a solução do problema, estão sendo realizadas.

## **7.7. COM RELAÇÃO AOS BENEFÍCIOS E CUSTOS DOS ITS**

### **7.7.1. Benefícios**

Os benefícios fornecidos pelas várias aplicações dos ITS têm sido estimados com base em cerca de 200 testes operacionais e implantação dos sistemas na América do Norte, Japão e Europa. O sumário que segue (referência bibliográfica [39]) pode servir como referencial para a estimativa dos benefícios em outros países.

**Resultados** (em relação a cada sistema de controle pesquisado):

- **Redução percentual do número de acidentes (segurança)**
  - ⇒ Sistemas de vídeo-monitoramento: acima de 30% (Europa)
  - ⇒ Câmeras para controle de velocidade: de 20% a 80% (EUA)
  - ⇒ Sistemas de impedimento de colisões: de 33% a 40% (EUA)
  - ⇒ *Ramp metering*: de 24% a 50% (EUA)
  - ⇒ Sistemas de controle de semáforos: de 75% a 78% (Japão)
- **Redução percentual do tempo de resposta a incidentes (segurança)**
  - ⇒ Sistema de emergência e gerenciamento de incidentes: 43% (Europa)
- **Redução percentual dos atrasos nas viagens rodoviárias (eficiência)**
  - ⇒ *Ramp metering*: de 13% a 48% (EUA)
  - ⇒ *Ramp metering* e Sistemas de vídeo-monitoramento: acima de 19% (Europa)

- ⇒ Sistemas de controle de semáforos: de 8% a 25% (EUA)
  - ⇒ Sistemas de controle de semáforos: de 10% a 20% (Japão)
  - ⇒ Sistema de gerenciamento de incidentes: de 10% a 45% (EUA)
  - ⇒ Sistemas de navegação veicular: de 4% a 20% (EUA)
  - ⇒ Sistemas de gerenciamento da demanda: média de 8% (Europa)
  - ⇒ Sistemas de controle do tráfego urbano: média de 10% (Europa)
  - ⇒ Sistemas eletrônicos de pedágio: 71% (Europa)
- **Aumento percentual da capacidade rodoviária (eficiência)**
    - ⇒ Sistemas eletrônicos de pedágio: de 200% a 300% (EUA)
    - ⇒ Sistemas de impedimento de colisões: de 30% a 60% (EUA)
- **Redução percentual de custos (produtividade)**
    - ⇒ Sistemas eletrônicos de pedágio: de 34% a 91% (EUA)
    - ⇒ Sistemas de gerenciamento de frotas: de 5% a 25% (EUA)
    - ⇒ Sistemas de localização automática de veículos (AVL): de 4% a 9% (EUA)
- **Redução percentual das emissões atmosféricas (meio-ambiente)**
    - ⇒ Sistemas de gerenciamento da demanda: 50% (Europa)
    - ⇒ Sistemas de controle do tráfego urbano: de 26% a 30% (Europa)

### 7.7.2. Custos

- Os dados quanto aos custos de instalação e operação dos ITS são escassos.
- Os custos dos testes operacionais (dos ITS) não são representativos, se comparados com aplicações dos sistemas em grande escala.
- Uma melhor avaliação dos custos de implantação dos ITS vem sendo efetuada pelo USDOT, com base na adoção da "Arquitetura Nacional" de desenvolvimento dos Sistemas Inteligentes.

### **7.7.3. Relação custo-benefício**

- **Um relatório dos órgãos rodoviários canadenses fornece as seguintes taxas, para as diversas aplicações dos ITS.**
  - ⇒ Sistemas de gerenciamento da demanda: de 1,2 a 1,98
  - ⇒ Serviços de informações: de 1,36 a 1,63
  - ⇒ Sistemas de gerenciamento do tráfego: de 5,91 a 6,99
  - ⇒ Sistemas de informação aos viajantes: de 2,37 a 2,9

**8. PROGNÓSTICOS, RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS E  
CONSIDERAÇÕES FINAIS**

## 8. PROGNÓSTICOS, RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 8.1. INTRODUÇÃO

Os Sistemas Inteligentes de Transporte Rodoviário constituem-se em uma multi-facetada abordagem das necessidades relacionadas à supervisão das rodovias.

Existe, atualmente, uma série de tecnologias comercialmente viáveis, enquanto que outras estão associadas a pesquisas de longo-prazo.

Alguns sistemas inteligentes têm, ou terão, sua implementação viabilizada pelo setor privado, outros pelo setor público, mas a grande tendência consiste na implementação executada em conjunto, na forma de parcerias, entre entidades públicas e privadas<sup>1</sup>.

Ao invés da aplicação de sistemas independentes, os órgãos gestores e os pesquisadores estão concentrados em diversas atividades, como pesquisas, testes operacionais, análise de resultados, desenvolvimento da arquitetura dos sistemas e avaliação das tecnologias relativas. As constatações obtidas, em função dessas iniciativas, servirão de base para desenvolvimentos futuros.

Neste capítulo, apresentam-se alguns prognósticos e recomendações técnicas em relação aos sistemas inteligentes de controle rodoviário.

---

<sup>1</sup> USDOT, *Intelligent Vehicle Highway Systems A Public/Private Partnership*, 1 October 1991.

## 8.2. PROGNÓSTICO PARA OS ITS

### 8.2.1. Introdução

A crescente demanda por mobilidade rodoviária representa um problema mundial, enquanto que a possibilidade de expansão da capacidade do sistema rodoviário é limitada. Como consequência, ocorrem os congestionamentos.

Segundo Arnott e Small<sup>2</sup>, nos Estados Unidos, em 39 grandes áreas (com uma população aproximada de 1 milhão de habitantes), um terço das viagens rodoviárias são realizadas a 50%, ou menos, da velocidade apropriada, o que resulta em um desperdício de 6 bilhões de horas/veículo por ano.

Atualmente, de forma genérica, são adotadas duas medidas na tentativa de solução para os problemas dos congestionamentos, a construção e/ou ampliação do sistema rodoviário e a aplicação dos ITS.

De acordo com Arnott & Small<sup>2</sup>, a expectativa do custo de expansão rodoviária na região de Los Angeles (EUA), para os próximos 25 anos, gira em torno de 111 bilhões de dólares. Com base nesse valor, a expectativa dos custos, quando se considera todo o país, representa um valor bastante elevado.

Os ITS apresentam-se como uma alternativa à melhoria da eficiência das rodovias existentes. O USDOT estima em 206 bilhões de dólares o custo de implantação dos ITS para os próximos 20 anos, o que pode ser considerado como um valor baixo, quando se leva em conta a possibilidade de duplicação da capacidade rodoviária sem a necessidade de gastos com construção rodoviária<sup>3</sup>.

A curto prazo, a implantação de uma infra-estrutura inteligente de transportes (ITI) permitirá que a operacionalidade e o gerenciamento do transporte rodoviário se torne mais eficiente, através da utilização e integração das tecnologias disponíveis e de coordenações institucionais.

---

<sup>2</sup> Arnott, Richard, & Keneth Small. The Economics of Traffic Congestion. American Scientist, Vol. 82, 1994.

<sup>3</sup> Derr, Mark. Beyond Efficiency. Atlantic Monthly. Jan. 1995.

### 8.2.2. Prognóstico para a Infra-estrutura Inteligente de Transporte

Cada uma das infra-estruturas (estudadas no capítulo 3) será descrita, a seguir, em termos de prognóstico quanto às suas capacidades de implementação para os próximos anos.

- **Com Relação ao Sistema Multimodal de Informações aos Viajantes (MTIS)**

O MTIS será capaz de alimentar automaticamente os canais de comunicações com informações do trânsito. Informações básicas podem se tornar disponíveis diretamente, como, por exemplo, através do *Highway Advisory Radio* (Rádio de Orientações Rodoviárias), enquanto informações especializadas para os usuários serão supridas por provedores do setor privado. O tipo e volume das informações poderá ser adaptado ao número de usuários, ao tipo de mídia de distribuição utilizado, e aos dispositivos especiais de comunicação (ex., *paggers*, rádios, telefone, dispositivos para navegação de bordo etc.) responsáveis pela recepção e exibição das informações. Um potencial chave dentro do MTIS será o controle automatizado das informações sobre o trânsito em tempo real, dando suporte à coleta e disseminação das mesmas aos veículos equipados com aparelhos para a navegação e orientação sobre rotas e condições do tráfego. O fornecimento das informações do trânsito em tempo real requererá processamento automatizado dos dados dos diversos sistemas da fiscalização do trânsito, bem como informações relevantes coletadas a partir de fontes manuais, como chamadas de telefones celulares e relatórios sobre as atividades policiais e rodoviárias de manutenção.

O MTIS também apoiará a coordenação inter-jurisdicional, envolvendo atividades como reação aos incidentes, controle especial do trânsito, ou da orientação sobre rotas alternativas. Os gerentes da rede rodoviária, bem como as organizações responsáveis por reações aos incidentes/emergências e pela manutenção, poderão compartilhar os dados e coordenar os planos mais eficientemente, assistidos por meio do acesso comum às informações contidas nas bases de dados do MTIS.

Os canais de distribuição das informações incluirão telefone, TV, rádio (padrão AM/FM e especiais), HAR/AHAR etc., implementados pelas informações e serviços provindos do setor público ou privado. O MTIS fornecerá/apoiará um nível de integração (fusão de dados) para claramente refletir as condições das rodovias (tempos das viagens, condições ambientais, eventos ou condições especiais etc.). Nos sistemas mais avançados, a capacidade de modelar o trânsito em tempo real permitirá a projeção das condições de tráfego para períodos futuros, em relação às reações a incidentes e/ou atividades especiais de controle.

- **Com Relação aos Sistemas de Controle de Semáforo (SIGNALS)**

Potenciais avançados são caracterizados pelo desenvolvimento de sistemas adaptáveis e preditivos de gerenciamento do tráfego, os quais podem reagir rapidamente a novas situações de trânsito e implementar novos planos para os tempos de sinais, baseados em uma visão atualizada das condições de tráfego.

Modelos avançados de simulação da rede e algoritmos de controle de sinais, combinados com uma fiscalização mais completa e dados mais acurados permitirão aos responsáveis pelo gerenciamento do trânsito reagir aos incidentes e a outras anomalias do fluxo de tráfego de uma maneira adequada e hábil. O gerenciamento do trânsito será apoiado por algoritmos de fusão de dados, que combinam dados de fiscalização, de várias fontes, com informações históricas (dos picos diários) para apresentar uma visão clara da situação momentânea do tráfego viário. Junto com os recursos do MTIS, o desenvolvimento dos sistemas de controle de semáforo estabelecerá mecanismos para a coordenação regional das funções de gerenciamento de trânsito entre as jurisdições adjacentes e facilitarão o monitoramento e a reação aos incidentes e eventos especiais.

As capacidades de gerenciamento de trânsito serão modulares, para permitir o melhoramento e o evolucionário crescimento do sistema sem a necessidade de grandes substituições, na medida em que se desenvolvem novas tecnologias e potenciais. Os controles dos semáforos também serão modulares e flexíveis, de modo que as estratégias do

controle, em tempo real, possam ser implementadas seletivamente para qualquer porção da rede de trânsito, de acordo com as condições rodoviárias específicas.

- **Com Relação aos Sistemas de Gerenciamento de Rodovias (FMS)**

Uma fonte adicional de dados a respeito dos tempos de viagem rodoviária estará disponível quando os automóveis, equipados com dispositivos de orientação sobre as rotas e os itinerários, tiverem a capacidade de comunicação direta (viabilizada pelos MTIS) com os Centros de Gerenciamento de Rodovias, para a monitoria das condições de tráfego com base em informações atualizadas.

- **Com Relação aos Sistemas de Gerenciamento do Trânsito (TRANSIT)**

O desenvolvimento alvo incluirá a implementação completa dos sistemas de localização de posicionamento atualmente disponíveis, de *softwares* para traçar itinerários e horários, e das capacidades de disseminação das informações sobre as condições horárias do tráfego.

Uma capacidade dos Sistemas de Gerenciamento do Trânsito será a utilização de AVL e sistemas computadorizados de despacho e de agenciamento de horários.

Outro aspecto importante será a aplicação de sistemas de manutenção e de consertos computadorizados, para acompanhar e gerenciar o abastecimento rotineiro dos veículos em trânsito e outras atividades de manutenção exigidas. Sistemas automatizados de diagnósticos (de bordo) poderão proporcionar um retrato em tempo real ou diário do desempenho dos veículos. Estas informações podem ser usadas para a programação de manutenções especiais ou rotineiras para o veículo. Este procedimento pode reduzir significativamente o atraso dos veículos e o número de falhas inesperadas dentro da frota, resultando na diminuição dos custos operacionais, melhorando o serviço e mantendo a satisfação dos usuários.

- **Com Relação ao Gerenciamento de Incidentes (IM)**

O Gerenciamento de Incidentes incluirá veículos de emergência equipados com aparelhos de navegação e orientação sobre a rota, o uso de mapas e banco de dados comuns, abrangendo todas as jurisdições, para reduzir a resposta aos incidentes. A cobertura da fiscalização das rodovias será expandida proporcionando uma melhor detecção, classificação (localização precisa, gravidade, tipo de veículo envolvido etc.), e resposta aos incidentes. Como no caso das outras infra-estruturas mencionadas, os potenciais são substancialmente melhorados através de uma integração mais estreita entre as funções desempenhadas pelas mesmas. O fornecimento de advertências em tempo real e informações sobre rotas alternativas proporcionarão uma maior segurança e permitirão aos motoristas o tráfego por seções da rodovia não afetada por incidentes.

- **Com Relação ao Sistema Eletrônico de Pedágio (ETC)**

Um objetivo fundamental para o desenvolvimento dos sistemas ETC é o uso de leitores comuns das etiquetas de pedágio, que funcionarão em jurisdições múltiplas. Outra meta será a implementação de uma interface padronizada para comunicação entre as diversas praças de pedágio.

As etiquetas de pedágio poderão, também, ter outras utilidades relativas ao controle dos veículos, como já foi exposto neste trabalho.

### **8.2.3. Prognóstico para os Benefícios e Custos dos ITS**

- **Razões para a tendência de crescimento dos benefícios relativos aos ITS**

- ⇒ Aumento da experiência com a implantação dos sistemas;
- ⇒ Aumento do poder das tecnologias de informação;
- ⇒ Aumento do volume de tráfego;
- ⇒ Diminuição da necessidade de construções rodoviárias.

- **Razões para a tendência de queda dos custos relativos aos ITS**

- ⇒ Aumento da experiência com a implantação dos sistemas;
- ⇒ Diminuição do preço de *hardwares* e *softwares*;
- ⇒ Diminuição dos preços relativos às comunicações, em função do surgimento de novas tecnologias;
- ⇒ Aumento da sinergia, com a integração dos sistemas.

#### **8.2.4. A Situação Brasileira**

Com o processo de concessão rodoviária em andamento, e em função dos problemas rodoviários existentes (expostos no capítulo 2), os responsáveis pela gestão rodoviária do país estão voltando a atenção para as aplicações dos ITS.

O Ministério dos Transportes criou, em julho de 1998, um grupo de trabalho com o objetivo de apoiar o desenvolvimento das aplicações da telemática e dos ITS nas rodovias brasileiras. Participam do grupo de trabalho a Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT), DNER, DERs, DERSA, entre outros<sup>4</sup>

A primeira fase do estudo está voltada à padronização da cobrança eletrônica de pedágio, visando atingir a interoperabilidade dos diversos sistemas, nos âmbitos federal e regional. "Isso significa que nos processos de cobrança eletrônica de pedágio, o motorista terá um único dispositivo (TAG ou etiqueta eletrônica), que permitirá o tráfego em qualquer rodovia, informou o Chefe do Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento do GEIPOT, Vilbert Ribeiro Junqueira".

Em novembro de 1998 alguns membros do grupo de trabalho, estiveram em Portugal, Áustria e Noruega para analisarem os sistemas implantados por estes países e constataram que eles dependem de fabricante único. Os técnicos concluíram que deveria ser adotado pelo Brasil um sistema que possa realizar a interoperabilidade entre equipamentos distintos, o que visa reduzir o custo dos TAGs a serem comprados pelos usuários. Essas informações servirão de subsídios para direcionar a ação e propor ao

---

<sup>4</sup> Informativo do DNER. Edição N<sup>o</sup> 29. Março de 1999.

Ministério dos Transportes uma definição do padrão de cobrança eletrônica de pedágio no Brasil.

"Embora o projeto de aplicação de telemática aos transportes seja mais amplo, foi iniciado pela cobrança de pedágios por ser o serviço mais urgente no momento. Atualmente, das cinco rodovias concedidas à iniciativa privada, duas já utilizam este tipo de cobrança, como a Ponte S/A (Onda Verde), e a CRT (Via Verde). As outras concessionárias ainda estão implantando os sistemas", segundo informações do engenheiro Ábdon Juarez da Silva Dias, Chefe do Serviço de Avaliação Técnica da DCR/DNER<sup>4</sup>.

A avaliação da operação com veículos comerciais consiste na segunda fase do projeto. Está em estudo a otimização dos procedimentos de liberação de veículos de carga em divisas estaduais e também nas fronteiras com países do Mercosul, viabilizado por um convênio com a Fundação de Desenvolvimento Tecnológico da USP. "No lugar de um serviço de fiscalização clássica, por exemplo, a carga sairia lacrada, com um dispositivo eletrônico, e ao passar pela barreira eletrônica, seriam detectadas as informações sobre o veículo, a carga, o percurso, sem haver a necessidade de deter o caminhão", disse Josino Carvalho, coordenador do Departamento de Pesquisa do GEIPOT.

A previsão para um futuro próximo é de que com o emprego dos ITS, sejam reduzidos os custos com infra-estrutura rodoviária, e que a capacidade das rodovias aumente em 30%, através de medidas como a instalação de equipamentos ao longo dos trechos, no interior dos veículos e outros dispositivos de interação com os transportes intermodais<sup>5</sup>.

O Brasil participa do "*PIARC-World Road Association-Committee on Intelligent Transport-C 16*", associação internacional que estuda os sistemas rodoviários no mundo e realiza reuniões semestrais para a avaliação da implantação dos ITS em cada país membro.

---

<sup>5</sup> Informativo do DNER. Edição N<sup>o</sup> 21. Julho de 1998.

### **8.3. RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS**

#### **8.3.1. Recomendações quanto à Arquitetura e Padronização dos ITS**

O desenvolvimento de uma arquitetura para os ITS deve ser feito sob várias perspectivas. Durante o estudo realizado para a elaboração deste trabalho, foram distinguidas três perspectivas como principais: a dos transportes, a das comunicações e as institucionais. Em relação aos transportes, o enfoque pode ser dado, também, através de três pontos-de-vista: o operacional (a teoria das operações), o funcional (arquitetura lógica) e o físico (arquitetura física). Existe, ainda, a necessidade da integração e da padronização dos processos citados, para que a implementação dos ITS seja feita de modo unificado.

##### **8.3.1.1. Sinergia**

A ação simultânea dos vários fatores inerentes aos sistemas contribui para uma ação coordenada, e consiste em um importante aspecto da implementação dos ITS, facilitando a integração de sistemas comuns, para múltiplas funções. Por exemplo, um sistema único de supervisão da rede rodoviária pode executar as tarefas de controle de semáforos, de gerenciamento de incidentes e de fornecimento de informações aos viajantes. Os *transponders*, utilizados na coleta eletrônica de pedágio, podem desempenhar funções como a identificação e a localização automática de veículos, entre outras.

##### **8.3.1.2. Arquitetura**

A arquitetura dos sistemas consiste em uma estrutura capaz de assegurar a interoperabilidade e a integração sinérgica de todas as funções dos ITS, independentemente da tecnologia utilizada. A interoperabilidade pode ser exemplificada pela capacidade de um veículo, utilizando uma unidade receptora (de bordo) e uma

antena, receber uma variedade de serviços disponibilizados pelos ITS (cobrança eletrônica de pedágio, informações sobre o tráfego etc.), não importando a localidade onde o veículo esteja operando.

Quanto à integração sinérgica para os ITS, geralmente são consideradas as quatro seguintes fontes<sup>6</sup>:

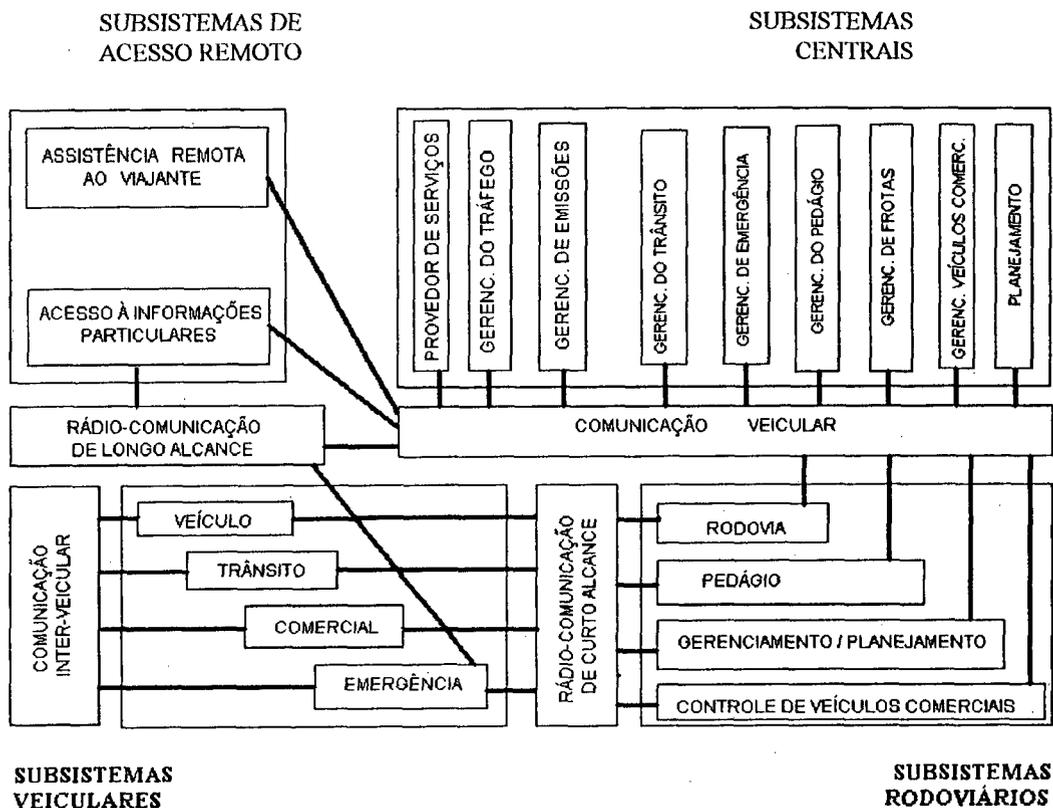
- A aplicação mútua das tecnologias ITS;
- Um banco de dados compartilhado entre os órgãos gestores do trânsito e os operadores do tráfego;
- A troca de informações e a coordenação entre as unidades organizacionais, tais como a polícia rodoviária e os serviços de emergência;
- Sinergia entre as infra-estruturas de transportes e as de comunicações.

Como consequência, os benefícios da integração envolvem economias de capital, aumento da capacidade dos sistemas, facilidade da aceitação pública e rapidez na implantação completa dos sistemas.

Visando ser prática, a arquitetura dos sistemas deve ser flexível o suficiente para conciliar as necessidades locais com os sistemas de controle disponíveis. Existem dois tipos de arquitetura mutuamente consistentes: a arquitetura lógica, que determina o fluxo de informações e o processamento dos dados necessários aos serviços dos ITS; e a arquitetura física, que aloca as funções específicas nos subsistemas apropriados, de acordo com as responsabilidades institucionais. A figura 8.1 representa a arquitetura física nacional para os ITS, desenvolvida nos Estados Unidos.

---

<sup>6</sup> K. Bhatt, Panel presentation on "Metropolitan Model Deployment Initiative Evaluation Strategy and Plan" at the 7<sup>th</sup> ITS America Annual Meeting, Washington DC, USA, 1997.



Fonte: U.S. Department of Transportation, Washington DC, USA, documentos em CD-ROM, 1997

**Figura 8.1 - Arquitetura física para os ITS (Estados Unidos)**

Observa-se que as interfaces entre os sistemas estão claramente retratadas e que o fluxo de dados entre os subsistemas é feito através de quatro tipos de comunicação. A seleção dos sistemas de comunicação deve levar em conta as rápidas e constantes mudanças nas tecnologias de telecomunicações, devidas, em parte, à desregulamentação do setor, existente em alguns países. Embora necessite, em certos casos, de alguma adaptação, a arquitetura nacional norte-americana mostra-se suficientemente flexível para ser aplicada em diversos países, levando-se em conta as peculiaridades e necessidades de cada um deles.

### 8.3.1.3. Padronização

Diversos países que estão processando a implementação dos ITS constataram a importância da padronização, tanto para que os sistemas funcionem de acordo com o esperado, quanto para que exista uma interoperabilidade em níveis nacionais. Para isso os equipamentos, as atividades e o compartilhamento das informações devem obedecer padrões determinados.

Alguns países (como os Estados Unidos, por exemplo) possuem, em estágio bastante avançado, programas específicos para o desenvolvimento de padrões para os ITS.

Para que exista uma completa eficiência, aceitação e abrangência dos padrões determinados, os mesmos devem ser desenvolvidos por organizações especializadas em cada área.

A interface entre os subsistemas de uma arquitetura para os ITS (como mostra a figura 8.1) implica a necessidade da criação de padrões e protocolos que permitam o fluxo homogêneo de informações entre os subsistemas, pois as mensagens trocadas ou compartilhadas devem ser mutuamente aceitas e interpretadas por cada subsistema.

A padronização dos ITS tem sido objeto de discussão e cooperação, através de organizações como a *International Standards Organization* (ISO). Em geral, requerem-se padrões não apenas em função da interoperabilidade entre os sistemas, mas também em função da vantagem de se poder adquirir equipamentos e componentes de diversos fornecedores, enquanto que para os fabricantes a padronização é importante no que se refere à produção em grande escala.

Para os sistemas já implantados e para os fornecedores que já tenham estabelecido uma posição no mercado, a padronização pode se tornar um problema. A troca de padrão pode ser de difícil aceitação, embora, a longo prazo, a padronização resulte em um razoável retorno do investimento [40]. Depois de estabelecidos os padrões, algumas considerações práticas devem ser levadas em conta. O processo de

migração, dos sistemas existentes para um novo padrão, deve ser feito de modo gradual e, de maneira geral, acompanhado pelos envolvidos com a implementação dos ITS.

### **8.3.2. Recomendações quanto ao Processo de Implantação dos ITS**

- Os gestores e as autoridades responsáveis pela implantação dos ITS devem conhecer, com profundidade, as várias aplicações e potenciais das tecnologias envolvidas. Aplicações criteriosas podem resultar em favoráveis taxas de retorno à economia local.
- Os ITS representam uma grande quantidade de serviços e produtos que, como no caso da aplicação das tecnologias, devem ser selecionados de acordo com as características e necessidades locais.
- Em cada etapa do processo de implantação dos ITS devem ser feitas análises econômicas (retorno do capital investido, relações custo/benefício etc.).

### **8.3.3. Recomendações quanto ao Processo de Avaliação dos ITS**

O principal propósito das operações de tráfego consiste em manter a qualidade, segurança, eficiência e funcionalidade da rede rodoviária, em face a acidentes, congestionamentos ou condições climáticas adversas. Isso significa a manutenção do desempenho operacional da rodovia dentro dos limites aceitáveis, e o auxílio aos motoristas, quando da ocorrência de algum dos eventos mencionados, implicando a principal tarefa dos gerentes e operadores do tráfego. Para que os sistemas de monitoramento do tráfego funcionem de forma adequada, necessita-se:

- ⇒ Detectar e localizar, precisamente, a natureza e a importância dos distúrbios;
- ⇒ Reagir rapidamente, protegendo as pessoas envolvidas nos incidentes e desobstruindo a rodovia;

⇒ Notificar os incidentes e informar os motoristas sobre rotas alternativas e desvios.

Para que essas atividades desempenhem suas funções de modo adequado, necessário se faz uma avaliação criteriosa, sistemática, permanente e fundamentada.

O tipo de estrutura para a avaliação dos ITS a ser adotado em cada caso deve ser discutido e analisado pelos participantes do sistema (gerentes, operadores, motoristas etc.). O procedimento é importante, no sentido de precisar a definição dos principais parâmetros a serem avaliados e a variabilidade das condições de viagem (por exemplo, a determinação dos parâmetros do tráfego, em condições normais ou em situações sazonais, como feriados, mudanças de estações etc.). Experimentos e observações devem comprovar a validade dos modelos utilizados para o levantamento dos benefícios, individuais e coletivos, provenientes das operações de tráfego monitoradas pelos ITS.

A troca de informações entre os diversos países deve ser incentivada, buscando um consenso e tornando viável o desenvolvimento de estratégias precisas para a avaliação dos ITS.

A análise de alguns projetos de avaliação dos ITS [8], ilustrando o estado da arte, mostra a limitação da medida dos impactos e dos critérios utilizados. Com isso, surge a necessidade de uma nova proposta, com o objetivo de definir uma estrutura global, integrando os métodos de avaliação de construção rodoviária existentes e os novos métodos de avaliação das operações de tráfego e do sistema de informações rodoviárias.

A análise dos benefícios sócio-econômicos deve incluir critérios mais detalhados quanto ao conforto dos usuários do sistema rodoviário e para a definição de parâmetros precisos, determinantes da variabilidade dos fatores segurança e tempo de viagem.

## 8.4. RESPOSTAS ÀS QUESTÕES LEVANTADAS

Em função de todos os estudos abordados, até o momento, para a execução deste trabalho, tem-se a condição de responder às questões levantadas no capítulo 1.

**Questão-1 :** Quais etapas devem ser seguidas por um país que não tenha experiência anterior, ou que esteja no início do processo, para a implementação dos modernos sistemas e tecnologias de controle de tráfego rodoviário?

### **1) Elaborar um plano-mestre, voltado às necessidades do usuário dos sistemas rodoviários:**

- ⇒ Determinar quais os principais problemas a serem resolvidos, relativos ao sistema de transportes.
- ⇒ Estabelecer metas e objetivos, de curto e longo-prazo.
- ⇒ Identificar os projetos de gerenciamento rodoviário já existentes e enquadrá-los como um projeto de implementação ITS, se for o caso.
- ⇒ Desenvolver um planejamento estratégico para a construção da infraestrutura básica de sistemas inteligentes, que servirá como suporte para os projetos e infraestrutura viária existentes.
- ⇒ Estimar o comportamento do mercado e dos benefícios potenciais, com a implantação dos ITS.
- ⇒ Determinar as fontes de recursos e levantar o capital necessário, estabelecendo-se as prioridades básicas, em função da análise da relação custo/benefício, para a disposição dos sistemas, bem como para pesquisas e estudos.

- ⇒ Priorizar os projetos relativamente pequenos e que tenham alta probabilidade de sucesso rápido, mostrando, com isso, a eficiência e efetividade dos ITS.
- ⇒ Instituir as situações cotidianas e momentâneas como base para futuras avaliações.

## **2) Envolver as pessoas de direito:**

- ⇒ Estabelecer ligações e acordos institucionais entre todas as partes interessadas e os investidores.
- ⇒ Identificar as expectativas, os possíveis problemas e o principal papel dos investidores.
- ⇒ Envolver, sempre que possível, especialistas, ou as pessoas mais capacitadas, em cada função.

## **3) Informar e educar os profissionais e o público quanto aos ITS:**

- ⇒ Educar e treinar, no mais amplo sentido, os técnicos, os administradores e as autoridades envolvidas, a respeito dos ITS.
- ⇒ Investir em estudos e pesquisas que definirão a aplicabilidade dos ITS.
- ⇒ Buscar a experiência de especialistas, nacionais e de outros países, através da coleta de informações, da participação em congressos internacionais, do envio de delegações a países com programas ITS implementados, e da participação em programas multinacionais de cooperação e pesquisa.
- ⇒ Contratar consultores, para a educação e o treinamento.
- ⇒ Educar o público sobre os ITS e seus benefícios.

**Questão-2:** Quais as condições necessárias para que se tenha viabilidade de implantação dos sistemas de gerenciamento e controle rodoviário?

**1) Estabelecer os requisitos básicos:**

- ⇒ Buscar informações, através dos órgãos rodoviários estaduais e federais, identificando as localidades com maiores problemas relacionados com o tráfego.
- ⇒ Avaliar o comportamento e o desempenho das diversas redes rodoviárias.
- ⇒ Providenciar a troca de informações e de experiências entre os órgãos rodoviários.
- ⇒ Assegurar a disponibilidade e o livre fluxo dos dados confiáveis.
- ⇒ Reconhecer que diferentes projetos, sistemas e regiões requerem diferentes arranjos institucionais.

**2) Desenvolver novos arranjos institucionais:**

- ⇒ Documentar, através de memorandos, as normas de trabalho participativo e conjunto entre as instituições envolvidas.
- ⇒ Definir, claramente, a quem cabem todas as responsabilidades, individuais ou compartilhadas.
- ⇒ Formar uma equipe qualificada para a coordenação da implantação dos sistemas.
- ⇒ Determinar, em cada localidade ou situação particular, a forma da execução da implantação dos sistemas (se através de recursos públicos, pelo setor privado, ou na forma de parcerias).

### 3) Tomar algumas precauções:

- ⇒ Não iniciar a implantação dos sistemas antes de serem solucionadas todas as questões institucionais.
- ⇒ Controlar as expectativas públicas, não prometendo resultados antecipadamente.
- ⇒ Não implantar sistemas com poucas possibilidades de expansão, que não estejam sujeitos a soluções alternativas para os problemas de substituição de equipamentos e componentes e, ao mesmo tempo, aplicar os padrões estabelecidos por uma arquitetura ITS local ou nacional.
- ⇒ Projetar os custos de manutenção dos sistemas.

## 8.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A evolução da informática tem afetado e continuará afetando o cotidiano das pessoas. Por escolha própria, ou inconscientemente, os indivíduos acabam adotando as novas tecnologias disponíveis. O mesmo vale para os sistemas de transportes.

As aplicações dos ITS apresentam um grande potencial de melhoria da segurança e da eficiência operacional dos sistemas rodoviários. Entretanto, os programas de transportes, historicamente, são dominados pelas atividades de construção em larga escala, dando pouca atenção aos problemas operacionais. A implementação de tecnologias avançadas requer uma mudança nesse enfoque, aumentando, significativamente, as responsabilidades quanto à instalação e manutenção dos sistemas operacionais de controle.

Os sistemas de gerenciamento e controle rodoviário devem ser implantados baseados em uma arquitetura que determine, precisamente, as funções e responsabilidades dos participantes do programa de implementação dos sistemas. Essa arquitetura deve ser, preferencialmente, de caráter nacional, facilitando, dessa forma, a

implantação, a padronização, a expansão e a manutenção dos sistemas, auxiliando, também, a otimização da eficiência dos sistemas inteligentes.

Independentemente do aspecto técnico do estabelecimento da arquitetura e da padronização, cada localidade, em função de suas necessidades próprias, deve estabelecer o modo de implantação dos sistemas, ou seja, se através de recursos públicos, privados ou na forma de parcerias.

Embora a idéia de sistemas rodoviários completamente automatizados possa consistir em um objetivo a ser alcançado a longo prazo, as autoridades públicas, através dos órgãos rodoviários capazes, devem ter consciência das implicações sociais e financeiras, com a transformação da infra-estrutura básica dos transportes em redes informatizadas e interativas.

Neste trabalho, buscou-se fornecer uma visão ampla das variáveis e dos fatores envolvidos com os sistemas inteligentes de transporte rodoviário. Quando da definição do tema a ser abordado, "A evolução tecnológica dos sistemas de controle rodoviário", intencionou-se observar as novas tecnologias que estão sendo aplicadas, visando solucionar os diferentes problemas relativos ao tráfego rodoviário.

Finalmente, salienta-se o fato de os objetivos propostos terem sido satisfeitos, com a produção de um trabalho, em língua portuguesa, servindo de base para futuras pesquisas que, certamente, contribuirão para o desenvolvimento e para a implementação, neste país, das tecnologias aqui contempladas.

## **8.6. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS**

Considerando que, em nosso país, o processo de implantação de sistemas rodoviários informatizados está apenas iniciando, o campo de estudos e pesquisas é bastante amplo.

A pesquisa bibliográfica, realizada para a execução deste trabalho, constatou a existência de poucas publicações (em termos nacionais) relacionadas com o assunto em questão e, por isso mesmo, esta dissertação teve como objetivo principal

proporcionar uma visão geral e abrangente da utilização dos sistemas informatizados de controle de tráfego, bem como dos fatores e das tecnologias aos mesmos associadas.

Portanto, conclui-se que cada sistema aqui descrito, ou cada tecnologia de controle de tráfego enfocada, merece um estudo mais aprofundado, o que implica a possibilidade de um grande número de novas pesquisas.

Ressaltando a característica de "pioneirismo" deste estudo, e o fato de o mesmo não ter pretensões de ser definitivo, sobre qualquer um dos assuntos discutidos, seguem algumas sugestões para futuros trabalhos, retomando-se as questões abordadas nesta dissertação:

- A elaboração de um projeto de arquitetura para os ITS, baseado nas necessidades rodoviárias locais e nacionais;
- Um estudo mais profundo das aplicações dos ITS, em relação aos transportes públicos, englobando também os aspectos da multimodalidade;
- Pesquisas mais intensas em relação aos Sistemas Rodoviários Automatizados (AHS) que, apesar de, momentaneamente, aparentarem ser uma solução "futurística" para os problemas rodoviários, têm demonstrado, através de testes de viabilidade técnica e econômica, sua eficácia e significativos benefícios potenciais;
- Estudos mais detalhados da importância, da participação e do interesse do poder público no processo de implementação dos sistemas rodoviários informatizados;
- Análises mais criteriosas da situação das rodovias brasileiras que, com o atual processo de privatização, estão sendo modernizadas e incrementadas com sistemas informatizados de controle do tráfego.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADVANCE - Advanced Driver and Vehicle Advisory Navigation Concept. ITS Operational Test program. USDOT/FHWA. 1996.
2. ALVES, Crispim. Jornal Folha de São Paulo, 07 de março de 1997.
3. BAUMGAERTNER, W. E. Levels of Service-Getting Ready for the 21st Century. ITE Journal. January 1996.
4. BENSON, L. A.; FODERBERG, D. L.; STEPHANEDES, Y. Minnesota Intelligent Transportation Systems' Laboratory. Transportation Engineering Technologies. 1996.
5. BIELLI, M. e REVERBERI, P. New Operations Research and Artificial Intelligence approaches to traffic engineering problems. European Journal of Operational Research. Rome, 1996.
6. BONSALL, P. e BELL, M. Information Technology Applications in Transport. NVU Science Press. Utrecht, 1987.
7. BRACKSTONE, M. e McDONALD, M. Modeling of Motorway Operations. Transportation Research Record. 1995.
8. CAUBET, C.; LASHERMES C.; ZERGHINI, S. ITS Evaluation Methods and Results-Proposal for a New Framework. SETRA. 1998.
9. CHRAIN, M. O Mercosul e seus impactos sobre o sistema de transporte rodoviário de passageiros de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção - UFSC. Florianópolis. 1996.
10. CLOWES, D. What we know about ITS user needs. PIARC Technical Committee C16. Surrey, 1997.
11. Diretrizes para Apresentação de Dissertações. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis. 1997.
12. FALCÃO, Daniela . Jornal Folha de São Paulo, 14 de janeiro de 1997.
13. FAST-TRAC - Michigan Faster and Safer Travel Through Traffic Routing and Advanced Controls. ITS Operational Test program. USDOT/FHWA. 1996.

14. FENTON, Robert E. IVHS/AHS Driving into the Future. IEEE Control Systems. December 1994.
15. GIFFORD J. L. e YGNACE J. Technology Standards and Deployment of Advanced Transportation Technologies: A Comparative Case Study of Eletronic Toll and Traffic Management (ETTM) in the United States and France. Transportation Engineering Technologies. 1996.
16. <http://babelfish.com/cgi-bin/> - California DOT.
17. <http://ctil.volpe.dot.gov/ohim/hpms.html> - The Highway Performance Monitoring System, 1998.
18. <http://ctil.volpe.dot.gov/ohim/nahpms.html> - Non-Federal Applications of The Highway Performance Monitoring System, 1998.
19. <http://nahsc.volpe.dot.gov/> - NAHSC, 1997.
20. <http://prn.branch.com/chicago/33564.htm> - Lincoln Applies Advanced Security While Driving, 1996.
21. <http://village.ios.com/~mkolb/avi.html> - Automatic Vehicle Identification, 1997.
22. <http://www.altavista.com>
23. <http://www.amtech.com/markets/ettm/ettm.htm> - Eletronic Toll and Traffic Management, 1998.
24. <http://www.co.mo.md.us/omb/fy98cip/509399.htm> - Advanced Transportation Management System, 1998.
25. <http://www.ctbctelecom.com.br/news09.html>
26. <http://www.estado.com.br/cid616.html> - Estrada do futuro é testada nos EUA, agosto 1997.
27. <http://www.ettm.com/avc.html> - Automatic Vehicle Classification
28. <http://www.ettm.com/avi.html> - Automatic Vehicle Identification
29. <http://www.ettm.com/etc.html> - Eletronic Toll Collection (ETC), 1998.
30. <http://www.ettm.com/home.html> - ETTM on the Web, 1997.
31. <http://www.ettm.com/ves.html> - Video Enforcement Systems
32. <http://www.gii-awards.com/nicampgn/2eb6.htm> - Traffic Monitoring System Using Automatic Vehicle Identification (AVI) Technnology, 1996.
33. <http://www.gm.com/about/Ahs/Evolution.htm> - Automated Highway System - DEMO '97.

34. <http://www.gm.com/about/New/AHS/family.htm> - National Automated Highway System Consortium, 1997.
35. <http://www.gm.com/about/New/AHS/test.htm> - National Automated Highway System Consortium-Technical Feasibility Demonstration, 1997.
36. <http://www.its.dot.gov/app4.htm> - ITS Core Infrastructure, 1997.
37. <http://www.its.dot.gov/docs/0198.html#ahs> - ITS America Coordinating Council Meeting, January, 1998.
38. <http://www.its.dot.gov/docs/key.htm> - Key Findings from the Intelligent Transportation Systems (ITS) Program - Federal Highway Administration by Mitretek Systems, Washington DC, September 1996.
39. <http://www.its.dot.gov/piarc.htm>
40. <http://www.its.dot.gov/piarc/chen.htm> - ITS Functions and Technical Concepts, 1998.
41. <http://www.its.dot.gov/piarc/wg3brain.htm> - Lessons Learned from ITS Deployment Around the World, November 1997.
42. <http://www.itsa.org> - ITS America, November 1998.
43. <http://www.monolith-mis.com/ahs/Default2.htm> - The NAHSC Technical Feasibility Demonstration, 1997.
44. <http://www.monolith-mis.com/ahs/Facts.htm>
45. <http://www.monolith-mis.com/ahs/faqs.htm>
46. <http://www.monolith-mis.com/ahs/howitwork.htm>
47. <http://www.monolith-mis.com/ahs/probenefits.htm>
48. <http://www.monolith-mis.com/ahs/QandA.htm>
49. <http://www.monolith-mis.com/ahs/technolo.htm>
50. <http://www.monolith-mis.com/ahs/theroad.htm>
51. [http://www.ota.fhwa.dot.gov/featproj/fp\\_dp93.html](http://www.ota.fhwa.dot.gov/featproj/fp_dp93.html) - Traffic Control Equipment and <http://www.Software>.
52. <http://www.rockwell.com/itsarh/epkgd.htm#roadway> freeway control - Equipment Package Descriptions
53. <http://www.rockwell.com/itsarh/mpatis1.htm> - Broadcast Traveler Information
54. <http://www.rockwell.com/itsarh/mpatms01.htm> - Network Surveillance
55. <http://www.rockwell.com/itsarh/mpatms02.htm> - Probe Surveillance
56. <http://www.rockwell.com/itsarh/mpatms04.htm> - Freeway Control

57. <http://www.rockwell.com/itsarh/mpatms10.htm> - Dynamic Toll/Parking Fee Management
58. <http://www.rtms-by-eis.com/detprime.html> - Introduction to traffic Detectors, 1998.
59. <http://www.sciam.com/109/issue/109/rillings.html> - Automated Highways, 1998.
60. <http://www.squirrel.com.au/qdot/general.html> - General ITS Information - Main Roads, 1997.
61. <http://www.tfrc.gov/its/optests/atmsatis.htm> - ATMS & ATIS Projects, 1998.
62. <http://www.tfrc.gov/site/5year/5yr.htm#its> - Research and Technology Program 1996-2000: A guide to FHWA's Research and Technology Program, 1996.
63. <http://www.vanet.com.br/logia2.htm#transponderes> - Os transponderes e sua utilização
64. <http://www.widesoft.com.br/widemarket/sea/>
65. <http://www.wsdot.wa.gov/comission/ATTP/01cover.htm> - Application of Advanced Transportation Technology Within Washington State - Committee for Advance Technology in State Transportation Policy, April 02, 1996.
66. <http://www1.estado.com.br/prova828.html>
67. HUDSON, K. Intelligent Highways: eight ways to increase your street smarts American City & County, November 1995.
68. Indicadores do Transporte. Dezembro 1995.
69. ITS Operational Test Program, Michigan Faster and Safer Travel Through Traffic Routing and Advanced Controls (FAST-TRAC). U.S. Department of Transportation-FHWA. February 5, 1996.
70. JOHNSON, C. Accelerating ITS Deployment: A Report from the U.S. DOT ITE Journal. December 1995.
71. Jornal Folha de São Paulo, 04 de novembro de 1995.
72. \_\_\_\_\_. 06 de agosto de 1995.
73. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 07 de março de 1997.
74. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 12 de maio de 1997.
75. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 14 de agosto de 1998.

76. \_\_\_\_\_. 14 de janeiro de 1997.
77. \_\_\_\_\_. 16 de novembro de 1996.
78. \_\_\_\_\_. 16 de setembro de 1998.
79. KLEIN, L. A. Detection Technology for ITS. ITS America. Washington DC, 1996.
80. KLEIN, L. A.; KELLEY, M. R.; MILLS, M. K. Evaluation of Overhead and InGround Vehicle Detector Technologies for Traffic Flow Measurement. Journal of Testing and Evaluation, JTEVA. Vol. 25, Nº 2. March 1997.
81. LEVINE, C. e FUNKE D. Ten Lessons for Automated Highway Systems Analysis. Transportation Research Record. 1996.
82. LOBO, E. Os Avanços nas Comunicações e seus Impactos Junto ao Sistema de Transporte Rodoviário de Cargas. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção - UFSC. Florianópolis. 1997.
83. LOZANO, André. Jornal Folha de São Paulo, 04 de novembro de 1995.
84. LUZ, Sérgio L. Revista Veja, 18 de junho de 1997.
85. MACHADO, C. Normas para Elaboração de Dissertações e Teses. Florianópolis. 1995.
86. MARKOW, M. J. Highway Management Systems: State of the Art. Journal of Infrastructure Systems. September 1995.
87. Measured Benefits of Deployed ITS Technologies. ITS America. 1995.
88. MICHALOPOULOS, P.G. e ANDERSON C. A. Costs and Benefits of Vision Based, Wide-Area Detection on Freeway Applications. Transportation Research Record. 1995.
89. MITRE Corporation. Intelligent Transportation Infrastructure Benefits: Expected and Experienced. Federal Highway Administration. Washington DC. January 1996.
90. MOREIRA, Mário. Jornal Folha de São Paulo, 12 de maio de 1997.
91. NAVAS, J. System Integration in Traffic Management Centers. Transportation Engineering Technologies. 1996.
92. NEPOMUCENO, Cristiana. Jornal Folha de São Paulo, 26 de junho de 1998.
93. PENDYALA, R. M. Congestion Benefits of Highway Automation. ASCE Transportation Congress. 1995.

94. PIETRZYK, Michael C. e MIERZEJEWSKY, Edward A. Eletronic Toll Collection Systems-The Future Is Now. TR News, 175. November/December 1994.
95. POE, C. M.; MASON, J. M.; URBANIK II, T. Geometric Design Considerations for Automated Highway Systems. ASCE Transpotation Congress. 1995.
96. RAY, M. Challenges of ITS Applications in Economies in Transition-Case Studies. SCETAUROUTE. France, 1998.
97. Revista Brasil Transportes. Outubro 1996.
98. Revista Carga & Transporte. Dezembro 1995.
99. \_\_\_\_\_. Novembro 1996.
100. Revista Logística Moderna Abril 1996.
101. \_\_\_\_\_. Outubro 1996.
102. Revista Via Urbana. Agosto/Setembro 1996.
103. ROSE, G. Applications of Advanced Traffic Control Technology. Traffic Enginnering and Management. 1996.
104. SMITH, E. R. Modelling Perspectives for the Automated Highway. ITE Journal. March 1996.
105. SRINIVASAN, R.; KOWSHIK, R.; VAUGHN, K. Advanced Traveler Information Systems: Oportunities and Risks. Transportation Congress. 1995.
106. TELLES, Sérgio C. De Biafra à Suiça nas estradas brasileiras. Revista Carga & Transporte. Junho 1995.
107. The National Transportation Communications/ITS Protocol: An Introduction. ITE Journal. December 1995.
108. Traffic Control Systems Handbook. Institute of Transportation Engineers. Washington DC, 1987.
109. TRANSMIT - Transcom's System for Managing Incidents and Traffic. ITS Operational Test program. USDOT/FHWA. 1996.
110. TRAVINFO - Bay Area Intermodal Traveler Information System. ITS Operational Test program. USDOT/FHWA. 1996.
111. TRAVLINK. ITS Operational Test program. USDOT/FHWA. 1996.

112. WANG, K. C. P.; ELLIOT R. P.; TURNER J. P. Technologies for a Multimedia Based Highway Information System in the Gigabit Networking Environment. Transportation Engineering Technologies. 1996.
113. WEINBERG, A. Comment faire une recherche?. Sciences Humaines. Paris, 11, novembre 1991. Tradução não publicada de GRANEMANN, S. UFSC. 1995.
114. WHITE, C. Intelligent Transportation Systems: Integrating Information Technology and the Surface Transportation System. Department of Industrial Operation Engineering-University. IEEE. 1995.
115. WRIGHT T. Eyes on the Road: Intelligent Transportation Systems and Your Privacy. Information and Privacy Commissioner. Ontario. March 1995.
116. YERMACK, L.; GALLAGHER, M.; MARSHALL, K. R. ETTM-An Early ITS Winner. ITE Journal. December 1995.
117. ZIETLOW, G. Reforma Financeira e Institucional da Conservação Viária. Federação Internacional de Rodovias. 1997.

#### **ADENDO ÀS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

118. MONT'ALVÃO, C. R. A. Inovação Tecnológica Aplicada ao Transporte Rodoviário: Estudo Exploratório na Cidade do Rio de Janeiro. PET/COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro. 1997.
119. PRANZI, M. Os Painéis de Mensagem Variável como Fonte de Informações das Condições de Tráfego: uma Metodologia de Suporte ao Operador. PET/COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro. 1999.
120. SÁ, V. B. C. Contribuição à Aplicação dos Sistemas Inteligentes de Transportes no Gerenciamento de Estacionamentos na Cidade do Rio de Janeiro. PET/COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro. 1999.