

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**AVALIAÇÃO DO USO DE GUIAS SONORAS COMO
MEDIDA DE REDUÇÃO DE ACIDENTES NAS
RODOVIAS DO RIO GRANDE DO SUL**

Tatiana Gomes Tedesco

Orientador:

Luis Antonio Lindau

Porto Alegre, 2004.
Versão Definitiva

TATIANA GOMES TEDESCO

**AVALIAÇÃO DO USO DE GUIAS SONORAS COMO MEDIDA DE REDUÇÃO DE
ACIDENTES NAS RODOVIAS DO RIO GRANDE DO SUL**

**Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado
Profissionalizante em Engenharia como
requisito parcial à obtenção do título de Mestre
em Engenharia – modalidade Profissionalizante
- Sistemas de Transportes e Logística.**

Orientador: Professor Dr. Luis Antonio Lindau

Porto Alegre

2004

Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de Mestre em ENGENHARIA e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pelo Coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Luis Antonio Lindau, Dr.
Orientador Escola de Engenharia/UFRGS

Profa. Helena Beatriz Bettella Cybis, Dra.
Coordenadora MP/Escola de Engenharia/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ana Maria Volkner de Azambuja
FURG

Profa. Dra. Christine Tessele Nodari
PPGEP/UFRGS

Profa. Dra. Helena Beatriz Bettella Cybis
PPGEP/UFRGS

Prof. Msc. João Fortini Albano
DEPROT/UFRGS

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais o Eng. José Carlos Teixeira Tedesco e a Professora Leda Maria Gomes Tedesco, por serem os grandes exemplos de educação e perseverança que balizaram minha vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

A minha família, pai, mãe e irmãos pela paciência e apoio incondicional.

Ao meu namorado Armando pelo incentivo e companheirismo constantes.

À amiga e banca Christine Tessele Nodari pela sua dedicação em me auxiliar em todas as fases do trabalho, sugerindo e criticando sempre com muito empenho.

Aos professores Ana Maria Volkmer de Azambuja da Silva, João Fortini Albano e Helena Beatriz Bettella Cybis, componentes da banca, pelas importantes contribuições.

Ao meu orientador Luis Antonio Lindau que muito colaborou com suas críticas e experiência.

Aos meus colegas de mestrado, em particular as minhas grandes amigas Glória Seadi, Liz Helena Varella Freire e Sayene Paranhos Dias, pelas palavras de incentivo e apoio constantes.

As empresas que forneceram dados que subsidiaram esse estudo, em especial a Empresa Hot Line Indústria e Comércio Ltda, Paulifresa Fresagem e Reciclagem Ltda, Concessionária Univias, Departamento de Estradas e Rodagem – DAER e Concepa.

A Empresa em que trabalho Incorp Consultoria e Assessoria Ltda. pelo constante apoio e auxílio, tanto na disponibilização de dados como na minha liberação para tratar dos assuntos do trabalho.

Aos meus amigos e colegas que de alguma forma me ajudaram com sugestões, fornecimento de dados, e contribuições diversas Ilton Daniel Ovalhe, Eng. Sidnei Marcon Rigo, Eng. D'Orleães Fernando Barcellos Freitas, Eng. José Carlos Flores da Silva, Eng. Áurea Rangel, Eng. Guilherme Burkhart, Eng. Caroline Pecker e Carlos Alfredo Rheinlander.

RESUMO

Nos últimos anos, os profissionais que atuam na área da engenharia rodoviária têm se dedicado à busca de tratamentos e soluções de engenharia que conduzam a melhores condições de segurança na malha viária. Entre as soluções de engenharia capazes de contribuir de forma efetiva para segurança viária, estão as Guias Sonoras. As Guias Sonoras são ranhuras ou saliências que marcam o pavimento das rodovias alertando motoristas desatentos. Este trabalho teve por objetivo sistematizar os conhecimentos existentes sobre o uso de Guias Sonoras no país e no mundo, a fim de divulgar um dispositivo de baixo custo e de simples aplicação e manutenção. O estudo aborda questões referentes ao custo do dispositivo, aos seus aspectos construtivos e à sua durabilidade, bem como o seu potencial na redução de acidentes. Foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica e um estudo de caso. No estudo de caso realizado, buscou-se (a) verificar a existência de locais com características geométricas que resultam em uma maior propensão à ocorrência de acidentes do tipo saída de pista, principal evento evitável pelo uso das Guias Sonoras, e (b) comparar os custos de implantação do dispositivo com os custos dos acidentes evitáveis pelas Guias Sonoras. O estudo de caso mostrou que acidentes do tipo saída de pista representam aproximadamente 30% do total de acidentes de uma rodovia típica. Esse percentual é compatível com o verificado na revisão bibliográfica. A análise dos segmentos nos quais este tipo de acidente ocorria de forma mais freqüente revelou uma tendência à sua ocorrência em aclives/declives e/ou curvas. De acordo com o comparativo feito entre custos dos acidentes e custos de implantação de Guias Sonoras, o custo de um acidente apenas com feridos equivale à execução de 3,8 quilômetros de Guias Sonoras nos acostamentos da rodovia. Já o custo de um acidente com uma vítima fatal equivale à execução de 31 quilômetros de Guias Sonoras. Adicionalmente, constatou-se que o investimento necessário para a implantação do dispositivo nos acostamentos do trecho analisado seria menor do que os custos de acidentes de saída de pista ocorridos no trecho no período de 3 anos.

PALAVRAS-CHAVE:

Guias Sonoras. Segurança Viária. Saída de Pista. Sonolência. Custo de Acidente. Geometria da Via

ABSTRACT

Over the last years, roadway engineers have been dedicated to finding treatments and solutions which may lead to better safety road conditions. Rumble Strips are among the solutions capable of contributing effectively to road safety. Rumble Strips are indents or raised elements which mark the road pavement in order to alert inattentive drivers. This study aims at systemizing the existing knowledge about the use of Rumble Strips in Brazil and over the world, in order to promote a low cost and easily applicable and maintainable device. The study takes into account issues referring to the cost of the device, its building aspects and its durability, as well as its potential to reduce accidents. A broad literature review and a case study were carried out. The case study was aimed at: (a) verifying the existence of locals with geometrical features that may contribute to the occurrence of run-off-the-road crashes, the main type of event avoided by Rumble Strips, and (b) comparing the costs of implementing the device to those resulting from crashes avoided by the use of Rumble Strips. The case study showed that run-off-the-road crashes represent approximately 30% of the total number of accidents along a typical roadway. This percentual is compatible to those verified in the literature review. An analysis of the segments, where run-off-the-road crashes are more frequent, revealed that they tend to occur in ramps and/or curves. When comparing implementation costs to those derived from avoided accidents, results demonstrate that the cost of one accident with non fatal victims is equal to the implementation of 3,8 kilometers of Rumble Strips in the shoulders along the road. The cost of one accident with one fatality corresponds to the implementation of 31 kilometres of Rumble Strips. It was also verified that the investment required for implementing the device in the shoulders of the studied roadway was lower than the estimated cost of run-off-the-road crashes occurring during a period of 3 years.

KEYWORDS:

Rumble Strips. Road Safety. Run-off-the-road. Sleepiness. Accident Costs. Road Geometry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação Esquemática das Fases do Estudo	19
Figura 2 - Representação Esquemática do Processo de Redução de Acidentes.....	23
Figura 3 - Influência dos Componentes nos Acidentes	26
Figura 4 - Guias Sonoras no Acostamento em Rodovia em Nova Iorque.....	32
Figura 5 - Guias Sonoras de Pista.....	33
Figura 6 - Retroreflexão do Dispositivo	35
Figura 7 – Especificações de Projetos em Diferentes Estados dos EUA	36
Figura 8 - Guia Sonora de Eixo	36
Figura 9 - Guias Sonoras com Ranhuras Conformadas no Local	38
Figura 10 - Guias Sonoras com Ranhuras Cilíndricas.....	38
Figura 11 - Guias Sonoras com Ranhuras Cilíndricas.....	39
Figura 12 - Guias Sonoras com Saliências	40
Figura 13 - Megaline tipo <i>Profile</i>	50
Figura 14 - Técnica de Aplicação por Sapata de Arrasto.....	51
Figura 15 - Técnica de Aplicação por Plastomaker.....	51
Figura 16 - Vista Geral do Megaline <i>Profile</i> Aplicado na Nova Via Dutra – SP	52
Figura 17 - Detalhe do Megaline <i>Profile</i> Aplicado na Nova Via Dutra – SP	52
Figura 18 - Fresadora W350 – Wirtgen.....	53
Figura 19 - Vista Frontal do Disco Acoplado ao Equipamento	53
Figura 20 - Vista Lateral do Disco Acoplado ao Equipamento.....	54
Figura 21 - Detalhe da Execução de Guia Sonora no Acostamento.....	54
Figura 22 - Guias Sonoras no Bordo Interno	55
Figura 23 - Guias Sonoras na Rodovia SP/310	55
Figura 24 - Guias Sonoras na Rodovia SP/330	56
Figura 25 – Mapa de Localização	72

Figura 26 - Total de Acidentes e Acidentes por Saída de Pista nos Padrões Geométricos Avaliados	79
Figura 27 - Total de Acidentes e Acidentes por Saída de Pista nos Subagrupamentos dos Segmentos em Curva	79
Figura 28 - Total de Acidentes e Acidentes por Saída de Pista nos Subagrupamentos dos Segmentos em Reta	80
Figura 29 - Comparativo Entre Nº Total de Outros Acidentes x Nº Total de Acidentes por Saída de Pista	81

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TAXAS DE FERIDOS E MORTOS POR TIPO DE RODOVIAS NORTE-AMERICANAS.....	24
TABELA 2 - INDICADORES DE ACIDENTES DE TRÂNSITO PARA O BRASIL – 1961 A 2000	24
TABELA 3 - INDICADORES DE ACIDENTES DE TRÂNSITO PARA PAÍSES SELECIONADOS	25
TABELA 4 - EXEMPLOS DE ESPECIFICAÇÕES DE PROJETOS EM DIFERENTES ESTADOS DOS EUA	35
TABELA 5 - DIFERENTES FORMAS CONSTRUTIVAS NOS DIFERENTES ESTADOS DOS EUA	41
TABELA 6 - COMPARAÇÃO ENTRE TAXAS DE ACIDENTES	47
TABELA 7 - COMPARAÇÃO ENTRE TAXAS DE ACIDENTES NOS DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTO.....	48
TABELA 8 - COMPARATIVO DE CUSTOS	57
TABELA 9 - CUSTOS POR TIPO DE ACIDENTES EM ZONAS URBANAS E RURAIS	61
TABELA 10 - COMPARAÇÃO ENTRE CUSTOS POR ACIDENTES X CUSTOS POR VEÍCULOS.....	62
TABELA 11 - CUSTOS DOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS PELO % DO TOTAL DO PRODUTO NACIONAL EM DIFERENTES PAÍSES (EM MILHÕES DE DÓLARES)	64
TABELA 12 - CUSTOS ANUAIS DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO NAS AGLOMERAÇÕES URBANAS BRASILEIRAS, POR COMPONENTE DE CUSTO	65
TABELA 13 - COMPARATIVO ENTRE GEOMETRIA E ACIDENTES.....	78
TABELA 14 - COMPARATIVO ENTRE O CUSTO DE 1 QUILÔMETRO DE GUIAS SONORAS E 1 ACIDENTE RODOVIÁRIO.....	83
TABELA 15 - CUSTO DOS ACIDENTES OCORRIDOS NA RS/122 POR SAÍDA DE PISTA NO PERÍODO DE 35 MESES	86
TABELA 16 - CENÁRIOS DO CUSTO MÉDIO DOS ACIDENTES NA RS/122.....	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dados de Acidentes e Características Geométricas na Rodovia RS/122.....	76
Quadro 2 - Severidade dos Acidentes Ocorridos na RS/122 por Saída de Pista.....	84

SIGLAS E ABREVIACOES

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*

ABNT – *Associação Brasileira de Normas Técnicas*

AUSTROADS – *Association of Australian and New Zealand Road Transport and Traffic Authorities*

CALTRANS – *California Department of Transportation*

DAER – *Departamento Autnomo de Estradas de Rodagem*

DELDOT – *Delaware Department of Transportation*

FHWA – *Federal Highway Administration*

GSA – *Guia Sonora de Acostamento*

GSE – *Guia Sonora de Eixo*

GSP – *Guia Sonora de Pista*

IPEA – *Instituto de Pesquisas Econmicas Aplicadas*

NCHPR – *National Cooperative Highway Research Program*

ODOT – *Oregon Department of Transportation*

PENNDOT – *Pennsylvania Department of Transportation*

PIB – *Produto Interno Bruto*

SNAP – *Sonic Nap Alert Pattern*

SP – *Saída de Pista*

STARS – *Shoulder Treatment of Accident Reduction*

TFHRC – *Turner Fairbank Highway Research Center*

UDOT – *Utah Department of Transportation*

VSL – *Value Statical of Life*

WSDOT – *Washington State Department of Transportation*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	COMENTÁRIOS INICIAIS	15
1.2	TEMA E OBJETIVOS	16
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	16
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	17
1.3	JUSTIFICATIVA DO TEMA E OBJETIVOS	17
1.4	MÉTODO	18
1.5	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	20
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	SEGURANÇA VIÁRIA	22
2.1.1	<i>Fatores Contribuintes do Acidente</i>	25
2.1.2	<i>O Fator Humano</i>	26
2.1.3	<i>Medidas de Identificação e Controle da Sonolência ao Volante</i>	29
2.1.4	<i>Efeito da Vibração e do Ruído Junto ao Sono</i>	30
2.2	GUIAS SONORAS	30
2.2.1	<i>Conceito e Uso das Guias Sonoras</i>	31
2.2.2	<i>Tipos de Guias Sonoras Mais Utilizados</i>	32
2.2.3	<i>Métodos Construtivos</i>	37
2.2.4	<i>Tipos de Acidentes Evitáveis com o Uso de Guias Sonoras</i>	41
2.3	EXPERIÊNCIAS COM GUIAS SONORAS	42
2.3.1	<i>Experiência Internacional</i>	42
2.3.2	<i>Experiência Nacional</i>	49
2.4	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE GUIAS SONORAS	56
2.4.1	<i>Custos Nacionais</i>	56
2.4.2	<i>Custos Internacionais</i>	58
2.5	CUSTOS DE ACIDENTES	58
2.5.1	<i>Composição dos Custos dos Acidentes Viários</i>	58
2.5.2	<i>Custos por Tipo de Acidentes</i>	60
2.5.3	<i>Método para Estimativa dos Custos de Acidentes</i>	62
2.5.4	<i>Custos dos Acidentes nas Economias Nacionais</i>	63
2.5.5	<i>Custos de Acidentes no Brasil</i>	64
2.6	SÍNTESE DO CAPÍTULO	66
3	ESTUDO DE CASO	69
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO	70
3.1.1	<i>Escolha da Rodovia</i>	70
3.1.2	<i>Descrição do Trecho Selecionado para o Estudo de Caso</i>	72

3.1.3	<i>Descrição dos Dados de Acidentes</i>	74
3.2	ANÁLISE DOS DADOS DOS ACIDENTES X DADOS GEOMÉTRICOS	77
3.3	COMPARATIVO ENTRE CUSTOS DOS ACIDENTES E DAS GUIAS SONORAS.....	82
3.3.1	<i>Dados sobre a Severidade dos Acidentes na Rodovia RS/122</i>	83
3.3.2	<i>Custos dos Acidentes x Custos de Guias Sonoras no Trecho Estudado</i>	86
4	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	89
4.1	CONCLUSÕES	89
4.1.1	<i>Conclusões Teóricas</i>	89
4.1.2	<i>Conclusões do Estudo de Caso</i>	90
4.2	RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	92
	REFERÊNCIAS	94
	ANEXO	98
	ANEXO A – DADOS SOBRE A FRESADORA W350	99
	APÊNDICE	100
	APÊNDICE A – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO (RS/122).....	101

1 INTRODUÇÃO

1.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

Nos últimos anos, os profissionais que atuam na área da engenharia rodoviária têm se dedicado à busca de tratamentos e soluções de engenharia que conduzam a melhores condições de segurança na malha viária. Em uma abordagem atual, essa preocupação com a segurança está presente em todas as etapas envolvidas na construção e operação de rodovias.

Segundo Ogden (1996), em todo o mundo, aproximadamente 500 mil pessoas morrem anualmente e entre 10 e 15 milhões de pessoas ficam feridas em acidentes viários. A gravidade do problema de falta de segurança fez com que os acidentes viários fossem incluídos como uma questão de saúde pública pela OMS nos países em desenvolvimento (PANITZ, 1996). Nesses países, os acidentes representam a segunda maior causa de morte entre a população na faixa etária de 5 a 44 anos. A precocidade das vítimas dos acidentes resulta em perdas significativas de anos produtivos da população.

De modo geral, acredita-se que 90% dos acidentes de trânsito são causados pelo fator humano. Conseqüentemente, as soluções para a redução de acidentes estariam na educação, na fiscalização e na punição de motoristas e pedestres (GOLD, 1995). A adoção de medidas que atuam diretamente sobre o fator humano é importante no tratamento de segurança viária; entretanto, estudos indicam que deficiências relacionadas aos veículos e às rodovias também estão presentes como fatores contribuintes de acidentes (OGDEN, 1996). Gold (1995) diz que investimentos realizados em engenharia de segurança viária tendem a ser mais vantajosos do que campanhas publicitárias ou programas de educação no trânsito, pois os resultados, além de imediatos e duradouros, não dependem de alocação contínua de recursos. Portanto, é possível reduzir significativamente os acidentes, através de medidas de engenharia eficazes, gerando, assim, grandes economias sociais.

A precária situação de segurança das rodovias e vias urbanas no Brasil tem imputado um alto custo sócio-econômico à nação. De acordo com estudos realizados pelo Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA, 2003), os acidentes de trânsito urbanos no Brasil geraram custos da ordem de R\$ 5,3 bilhões no ano de 2001. Entre os exemplos desses custos, estão os milhares de leitos hospitalares ocupados por acidentados, as famílias abaladas psicológica e financeiramente, as indenizações, as pensões e os gastos materiais (veículos, mobiliário urbano, etc.) decorrentes dos acidentes viários.

1.2 TEMA E OBJETIVOS

Este trabalho aborda o uso de dispositivos do tipo Guias Sonoras no controle ou na prevenção dos acidentes do tipo saída de pista. A utilização de Guias Sonoras tem se mostrado uma medida de engenharia com bom potencial na prevenção de acidentes viários. O estudo aborda questões referentes ao custo do dispositivo, aos seus aspectos construtivos e à sua durabilidade, bem como o seu potencial na redução de acidentes.

A escolha do tema para este trabalho foi definida a partir do estudo realizado por Nodari (2003), cuja revisão bibliográfica identificou o potencial das Guias Sonoras na redução de acidentes dentre as características físicas da rodovia que influenciam na ocorrência de acidentes.

O assunto tratado segue a linha de raciocínio de Richard Powers, engenheiro projetista do FHWA, que diz: “Nosso primeiro objetivo é reduzir os acidentes e suas fatalidades, e as Guias Sonoras possuem um custo muito baixo de implantação para proteger os motoristas na rodovia”. (TFHRC, 2002)

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o uso de Guias Sonoras como medida de redução de acidentes nas rodovias do Rio Grande do Sul.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) identificar os tipos e métodos construtivos de Guias Sonoras existentes em nível internacional e nacional;
- b) verificar a existência de características geométricas para as quais o uso de Guias Sonoras tende a conduzir a maiores reduções na ocorrência de acidentes, a fim de orientar as possíveis intervenções preventivas nas rodovias;
- c) realizar uma comparação entre o custo dos acidentes evitáveis com o uso do Guias Sonoras e o custo de construção do dispositivo.

1.3 JUSTIFICATIVA DO TEMA E OBJETIVOS

Nos Estados Unidos, aproximadamente 1/3 de todos os acidentes fatais e com danos graves é causado por acidentes do tipo saída de pista (TFHRC, 2002). Aproximadamente 16.000 mortes por ano podem ser atribuídas a esse tipo de acidente. Esses dados têm instigado a comunidade de transportes a tomar atitudes para proteger os motoristas que trafegam nas rodovias e, particularmente, tornar as rodovias mais seguras e confiáveis ao usuário. Entre essas atitudes, destacam-se os usos de dispositivos capazes de inibir os acidentes por saída de pista.

Segundo o Federal Highway Administration (FHWA, 2002), os acidentes envolvendo saída de pista têm um custo alto. Uma estimativa anual do custo deste tipo de acidente é de 80 bilhões de dólares. Nesse valor, incluem-se a perda de vidas e o custo com saúde gerado pelos danos causados. Custos relacionados com o sofrimento e a ruptura familiar não estão incorporados nessa estimativa.

Entre as possíveis soluções estudadas para prevenir acidentes do tipo saída de pista, optou-se por desenvolver o estudo sobre o dispositivo denominado Guias Sonoras ou *Rumble Strips*. Esse assunto foi escolhido por se tratar de um método ainda pouco utilizado no Brasil, apesar da existência de mão-de-obra qualificada e de produtos de alto nível à disposição para a sua instalação.

A partir da experiência de alguns departamentos rodoviários, principalmente os norte-americanos, os quais têm estudado a eficácia do uso de Guias Sonoras, desenvolveu-se neste

trabalho um estudo de aplicabilidade do dispositivo como um potencial redutor de acidentes do tipo saída de pista. Sabe-se que os acidentes viários não envolvem apenas questões relativas ao ambiente rodoviário, mas, também, relativas ao comportamento humano. A sonolência e a fadiga são exemplos de fatores contribuintes presentes na ocorrência de acidentes viários. As Guias Sonoras apresentam-se como dispositivo de segurança viária capaz de prevenir falhas relacionadas a essas questões do comportamento humano.

Espera-se que o trabalho desperte ainda mais a curiosidade dos técnicos envolvidos com questões de segurança viária e aumente a execução do dispositivo nas rodovias brasileiras.

1.4 MÉTODO

Este trabalho é caracterizado por ser uma pesquisa do tipo aplicada, envolvendo uma abordagem qualitativa, quantitativa e de caráter exploratório. Busca-se apresentar um dispositivo ainda pouco adotado no país, a fim de solucionar problemas específicos, caracterizados por acidentes do tipo saída de pista. O estudo se desenvolve de forma qualitativa, através de um levantamento bibliográfico de experiências já efetuadas, e de forma quantitativa em pesquisas de banco de dados sobre acidentes.

Este estudo aborda, em primeiro plano, uma pesquisa conceitual sobre Guias Sonoras a partir de uma revisão bibliográfica. São revisados os usos do dispositivo, os métodos construtivos existentes e seus respectivos custos. Ainda dentro da pesquisa bibliográfica são revisados os acidentes do tipo saída de pista, os quais são os acidentes potencialmente evitáveis com o uso das Guias Sonoras. Também faz parte da revisão bibliográfica o levantamento dos custos, tanto dos acidentes como de aplicação do dispositivo em estudo. Por fim, procura-se fazer um comparativo entre o custo do acidente e o custo de implantação do dispositivo em rodovia gaúcha. Dessa forma, é avaliada a aplicabilidade das Guias Sonoras no tratamento da segurança viária.

O Estudo de Caso tem como objetivo identificar padrões de geometria da rodovia nos quais a incidência de acidentes evitáveis com uso de Guias Sonoras é predominante. Através de consulta ao banco de dados de acidentes, busca-se identificar uma relação entre geometria e ocorrência de acidentes do tipo saída de pista.

Ainda dentro do Estudo de Caso, é feito um comparativo entre custos de acidentes e custos de implantação do dispositivo através de Cenários Hipotéticos.

A Figura 1 mostra as fases deste estudo de avaliação da potenciabilidade das Guias Sonoras como uma medida de prevenção de acidentes.

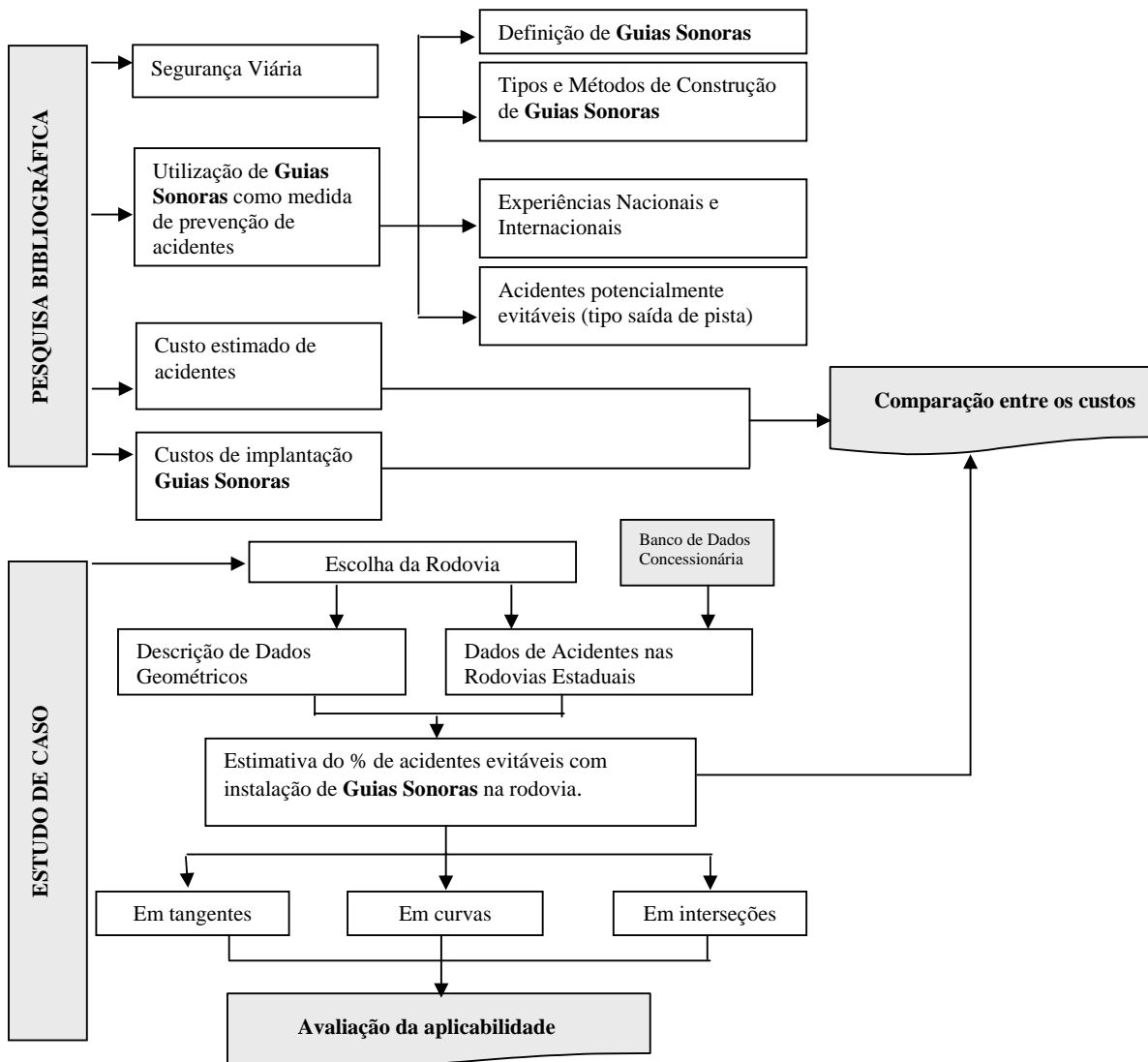


Figura 1 - Representação Esquemática das Fases do Estudo

1.5 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O presente trabalho consolida definições e experiências, tanto nacionais como internacionais, sobre Guias Sonoras e seus usos, buscando enfatizar a aplicabilidade do mesmo na realidade brasileira. É necessário destacar que as informações apresentadas são baseadas, essencialmente, em estudos norte-americanos, devido à escassez de bibliografia e de experiências nacionais documentadas sobre o assunto. As experiências internacionais apresentadas não refletem, em sua totalidade, a realidade brasileira, porém pode-se delas tirar proveito para o futuro das rodovias brasileiras.

As rodovias brasileiras não possuem manutenção similar às rodovias internacionais onde foram aplicados estes dispositivos; portanto, os resultados obtidos, quando da aplicação de Guias Sonoras, poderão não ser tão animadores quanto os aqui apresentados. Outro aspecto que pode afetar os resultados de utilização de Guias Sonoras é a prática do excesso de velocidade, comum em estados brasileiros. Sabe-se que em altas velocidades o desempenho das Guias Sonoras é prejudicado.

A partir da revisão dos custos de acidentes, optou-se por utilizar nesse trabalho resultados do estudo realizado pelo IPEA (2003). Embora os custos apresentados tenham sido estimados para aglomerações urbanas brasileiras, a escolha dos valores propostos pelo IPEA se justifica pela atualidade do estudo e pelo fato de refletir a realidade brasileira. Acredita-se que os custos de acidente em zonas rurais devam ser ainda maiores devido à tendência destes serem mais graves que os acidentes urbanos.

Para o estudo de caso, desejava-se selecionar uma rodovia de pista simples para a qual se dispusesse de dados de projeto e de acidentes e que tivesse uma distribuição relativamente proporcional entre curvas e retas, possuindo, também, algumas interseções. Neste sentido, foi contatada a concessionária Univias, que prontamente forneceu os dados necessários e teve uma participação decisiva na escolha da rodovia. Cabe ressaltar as dificuldades encontradas para se obter o material referente ao projeto da rodovia selecionada. As rodovias pedagiadas, do Rio Grande do Sul, para as quais se dispõem de bons registros de acidentes, são muito antigas, e seus dados de projeto geométrico não são facilmente encontrados nos órgãos competentes.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em quatro capítulos. No primeiro capítulo, é feita uma introdução ao tema, justificando a importância deste estudo na prevenção e redução de acidentes rodoviários. Este capítulo também apresenta os objetivos e o método de trabalho a ser executado, indicando a estrutura e as limitações deste estudo.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica que trata de medidas de segurança viária, indicando os tipos de acidentes potencialmente evitáveis com a implantação de Guias Sonoras e as suas principais causas. Também é apresentada uma revisão sobre este dispositivo, composta de conceito, tipos de Guias Sonoras, métodos construtivos e custos de execução. São relatadas experiências internacionais que descrevem o dispositivo e apresentam resultados que evidenciam a eficiência do mesmo na redução dos acidentes. Já a experiência nacional consiste de uma visita às duas principais executoras de Guias Sonoras do país, no estado de São Paulo. Também nesse capítulo, é apresentada uma revisão sobre custos de acidentes, na qual são identificados os custos envolvidos na sua composição, chegando nos valores adotados internacionalmente e no Brasil.

O terceiro capítulo é composto pelo Estudo de Caso, no qual em um primeiro momento, é feita a escolha da rodovia, acompanhada por sua descrição. São comparados os dados constantes no projeto e as informações obtidas na visita ao trecho. Posteriormente, os dados de projeto são confrontados com os dados de acidentes obtidos junto à concessionária responsável. Através de tabelas e gráficos, busca-se identificar as características geométricas dos locais onde os acidentes potencialmente evitáveis pelo uso de Guias Sonoras se concentram. Em um segundo momento, é desenvolvida uma comparação entre os custos dos acidentes ocorridos no segmento pesquisado e o custo de implantação do dispositivo nesse segmento. Através da criação de cenários hipotéticos, procurou-se identificar que percentagem de acidentes ocorrida no segmento avaliado deveria ser evitada para que o custo de implantação das Guias Sonoras, nesse segmento, fosse igual ao custo decorrente dos acidentes evitáveis.

O quarto e último capítulo apresenta as conclusões obtidas a partir do trabalho desenvolvido e as sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo é dividido em cinco seções. A primeira faz um apanhado geral sobre segurança viária, apresentando alguns indicadores de acidentes no Brasil e no mundo e os fatores contribuintes do acidente com destaque para o fator humano. A segunda apresenta os dispositivos chamados de Guias Sonoras, com o foco no seu conceito, tipos mais utilizados e métodos construtivos. A terceira seção destaca experiências nacionais e internacionais sobre a utilização de Guias Sonoras. A quarta seção apresenta os custos nacionais e internacionais de implantação do dispositivo. Por fim, a quinta seção apresenta uma revisão sobre os custos envolvidos nos acidentes viários.

2.1 SEGURANÇA VIÁRIA

O nível de segurança de uma rodovia, segundo a AASHTO (1997), depende, basicamente, de um planejamento voltado para as questões de segurança que abrange as etapas de projeto, construção, manutenção e operação da via. Segundo Ogden (1996), esse planejamento abrange estratégias entre as quais se destacam o controle de situações de risco (diminuindo conflitos existentes) e a prevenção de acidentes através de modificações na geometria da via e nas interseções, de alterações na sinalização e iluminação, e da adoção de medidas de *traffic calming*. Outros exemplos de estratégias para a melhoria da segurança são a modificação do comportamento do usuário, através de leis, treinamento e fiscalização, e o controle de danos através de medidas como o uso de cinto de segurança.

O fluxograma de redução de acidentes criado por Gold (1995), apresentado na Figura 2, indica que a adoção de medidas para a melhoria da segurança viária é um processo cíclico e contínuo. Depois de caracterizar as causas e conseqüências de um acidente, são elaboradas e implantadas soluções. Essas soluções, por sua vez, têm seus resultados avaliados e

aperfeiçoados. Então, as causas e conseqüências dos acidentes são novamente caracterizadas, dando prosseguimento ao processo.

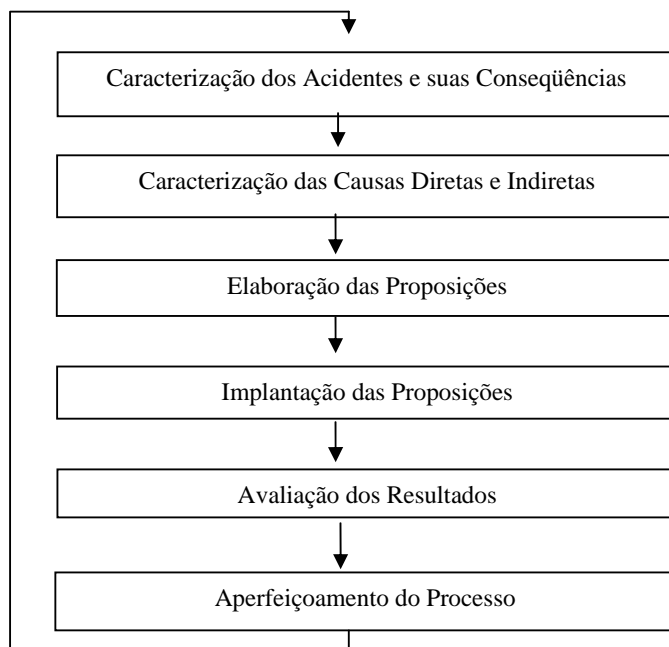


Figura 2 - Representação Esquemática do Processo de Redução de Acidentes. Fonte: (Gold, 1995)

A segurança viária é usualmente avaliada pelas estatísticas de acidentes. Entre os indicadores de segurança mais comuns, estão aqueles que medem a taxa de feridos e de mortos a cada 100 milhões de veículos/km/viagem. Esses valores refletem o risco relativo associado com viagens em uma determinada rodovia.

Dependendo de como é feito o gerenciamento da segurança de uma rodovia, pode-se diminuir os riscos de acidentes com vítimas fatais e/ou com feridos. Na Tabela 1, pode-se observar a diferença entre as taxas de mortos e de feridos em rodovias urbanas e rurais dos Estados Unidos, em 1992. Percebe-se, pelos resultados apresentados, que as rodovias interestaduais têm o menor número de acidentes fatais entre todos os tipos de rodovias. Segundo AASHTO (1997), isso decorre das características de projeto deste tipo de rodovia, na qual os acessos são controlados e as larguras de faixas são amplas.

De acordo com AASHTO (2001), a hierarquia das vias é dividida em vias arteriais, coletoras ou locais. As vias arteriais são denominadas para corredores movimentados, com viagens longas e com alta densidade de veículos, as vias coletoras possuem distâncias menores que as vias arteriais, com velocidades moderadas desconsiderando o volume de tráfego, já as vias locais servem para designar distâncias curtas e acessos locais.

De acordo com a Tabela 1, as rodovias rurais apresentam um número maior de acidentes fatais que as rodovias urbanas, já as rodovias urbanas têm um número de feridos superior ao das rodovias rurais. Porém tanto nas rodovias urbanas como rurais, quanto menor a classe das mesmas maior o número de vítimas e feridos.

TABELA 1 – TAXAS DE FERIDOS E MORTOS POR TIPO DE RODOVIAS NORTE-AMERICANAS

Tipo de Rodovia	Acid. fatais por 100 milhões veículos/km	Feridos por 100 milhões veículos/km
Urbanas		
Interestaduais	0,34	24
Arteriais primárias	0,81	74
Outras arteriais	0,69	88
Coletoras	0,55	76
Locais	1,04	120
Rurais		
Interestaduais	0,63	13
Arteriais	1,31	35
Coletoras	1,81	59
Locais	2,26	109

Fonte: FHWA, 1992 apud AASHTO, 1997

O acidente de trânsito tem especial relevância entre as externalidades negativas produzidas pelo trânsito. Entre os prejuízos associados ao acidente viário, destacam-se não somente os custos econômicos mas, sobretudo, a dor, o sofrimento e a perda de qualidade de vida imputada às vítimas, a seus familiares e à sociedade como um todo.

Segundo o IPEA (2003), no Brasil, as estatísticas oficiais mostram um expressivo número de mortes em acidentes de trânsito, conforme apresentado na Tabela 2. Medidas como a obrigatoriedade do uso do cinto de segurança, o controle eletrônico de velocidade e a entrada em vigência do Código de Trânsito Brasileiro contribuíram para a diminuição do número de mortes e para a melhoria dos indicadores de segurança, até o ano de 2002, apesar de o número de feridos ter tido seu pico no ano de 2001 e o índice de mortes por 100 mil habitantes ter aumentado de 11,6 para 12,3 no ano de 2002.

TABELA 2 - INDICADORES DE ACIDENTES DE TRÂNSITO PARA O BRASIL – 1961 A 2000

ANO	Nº de Mortes	Nº de Feridos	Mortes por 10 mil veículos	Mortes por 100 mil habitantes
1961	3.356	23.358	53,6	4,6
1971	10.692	124.283	34,4	11,1
1981	19.782	243.001	17,0	15,9
1991	23.332	248.885	11,3	15,1
2000	20.049	358.762	6,8	11,8
2001	20.039	374.557	6,3	11,6
2002	18.877	318.313	6,2	12,3

Fonte: IPEA, 2003 e DENATRAN, 2004

O número elevado de vítimas evidencia um quadro preocupante. Esses valores, principalmente a taxa de mortes por 10 mil veículos, se tornam ainda mais preocupantes quando comparados com os valores observados em países desenvolvidos, apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 - INDICADORES DE ACIDENTES DE TRÂNSITO PARA PAÍSES SELECIONADOS

País	Taxa de Mortes por 10 mil veículos
Japão	1,32
Alemanha	1,46
Estados Unidos	1,93
França	2,35
Turquia	5,36
Brasil	6,80

Fonte: DENATRAN e OECD apud IPEA, 2003

2.1.1 Fatores Contribuintes do Acidente

Os acidentes viários são resultantes da combinação de diversos fatores. Esses fatores podem ser agrupados em três grandes categorias chamadas de componentes do acidente viário. São eles: componente humano, componente veicular e componente viário-ambiental.

Austroroads (1994) indica o componente humano como responsável por 95% dos acidentes de trânsito, enquanto o componente viário-ambiental e o componente veicular aparecem como fator contribuinte, respectivamente, de 28% e 8% do total de acidentes. Esses percentuais levam em consideração a interação de fatores, onde 24% resultam da interação do componente humano com o viário-ambiental e 4% da interação do componente humano com o veicular. Os fatores viário-ambiental e veicular sozinhos são responsáveis por 4% da responsabilidade sobre a ocorrência de acidentes cada um e ao fator humano é atribuído, isoladamente, 67% das causas, conforme esquema apresentado na Figura 3. De acordo com a figura, percebe-se que não ocorre a interceptação dos três fatores contribuintes do acidente, porém é sabido que é possível de ocorrer.

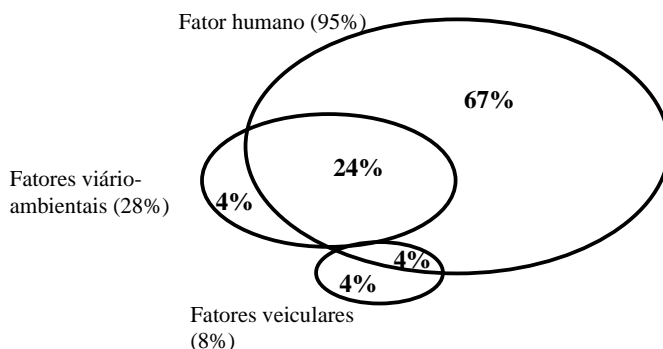


Figura 3 - Influência dos Componentes nos Acidentes. Fonte: (AUSTROADS, 1994)

Os responsáveis pela rodovia, nas etapas de projeto, construção e operação, devem ter em mente que a conduta humana tem expressiva influência na operacionalidade da via. Entender as características de capacidade e de conduta de um motorista, avaliando suas limitações e dificuldades, é o princípio básico para tentar aumentar a segurança de uma via, pois a operação rodoviária depende fundamentalmente dos usuários e de suas tomadas de decisão.

Diversas análises feitas de acidentes viários mostram que as falhas dos motoristas são o principal fator contribuinte na ocorrência de acidentes. Porém, segundo a AASHTO (1997), em cerca de 85% dos acidentes, pode ser creditada à engenharia rodoviária a responsabilidade pelas condições de segurança da via, uma vez que bons projetos, aliados à manutenção periódica das vias, colaboram para um melhor desempenho dos motoristas, diminuindo a falha humana.

2.1.2 O Fator Humano

A competência para dirigir um automóvel está relacionada à combinação básica entre habilidade, treinamento e experiência. Todavia, o motorista pode ter seu desempenho diminuído por um curto período de tempo, em decorrência de falta de concentração, tomada de decisão equivocada ou por atitudes de risco. Compreender o fator humano (motoristas, ciclistas e pedestres), reconhecendo suas habilidades e limitações, é essencial para o desenvolvimento de um bom projeto viário e de uma operação segura de rodovias. Esse

conhecimento capacita engenheiros a desenvolver projetos nos quais as informações e os procedimentos operacionais sejam capazes de diminuir os erros dos motoristas.

Engenheiros projetistas e construtores devem prover as rodovias de dispositivos apropriados com o objetivo de transmitir as informações necessárias para que as falhas dos motoristas sejam evitadas ou reduzidas. Segundo a AASHTO (1997), essas informações geram um procedimento chamado de *Positive Guidance* (orientação positiva). O *Positive Guidance* consiste na identificação de um sistema de informações deficiente e na tomada de providências adequadas. Devem ser providas as informações esperadas quando necessário, onde for obrigatório e devem ser oferecidas ao motorista condições propícias de geometria e controle de tráfego.

O excesso de velocidade e o consumo de álcool são reconhecidos como importantes causas de acidentes de trânsito. Entretanto, a desatenção, a fadiga e a sonolência são também grandes contribuintes na ocorrência de acidentes. Estudos mostram uma ligação muito forte entre distúrbios do sono e acidentes envolvendo veículos motorizados (Fuller, 2002). O papel da sonolência e dos distúrbios do sono parece estar subestimado em comparação às causas clássicas de acidente, como álcool e uso de drogas.

Segundo Fuller (2002), o desempenho humano é vulnerável a fatores como fadiga, sonolência, álcool e outras drogas. Emoções e estresse também podem prejudicar o desempenho do motorista. A seguir, é apresentado um panorama sobre esses fatores, pois eles tendem a ser os geradores de acidentes do tipo saída de pista, objeto deste estudo.

2.1.2.1 Sonolência

Segundo Fuller (2002), sintomas relacionados à fadiga restringem a capacidade de reação do motorista, diminuindo ou prejudicando sua percepção sobre o ambiente viário. A principal causa da fadiga provém do descanso inadequado e do excesso de trabalho. Dormir pouco pode provocar momentos de sonolência incontrolável que podem durar alguns segundos. Essas “piscadelas” podem ser muito perigosas quando ocorrem durante uma viagem, na qual é necessária uma contínua atenção do motorista. Sendo assim, é interessante que dispositivos apropriados sejam adotados nas rodovias para que os motoristas sejam despertados em caso de sonolência e retomem o controle do veículo.

Há diferenças individuais da quantidade de horas de sono de que necessitamos. Esse montante tende a diminuir com a idade. De qualquer maneira, dormir pouco pode afetar seriamente o desempenho do motorista. As principais causas de sonolência são:

- a) trocas radicais de turno;
- b) ingestão de bebidas alcoólicas;
- c) uso de remédios sedativos ou similares.

Ainda segundo Fuller (2002), a sonolência pode ser dividida em três graus de severidade:

- a) sonolência leve: manifesta-se em estado de pausa ou repouso em tarefas que requerem pouca atenção;
- b) sonolência moderada: pode comprometer as atividades físicas leves e tarefas que exijam um grau moderado de alerta, como, por exemplo, dirigir;
- c) sonolência severa: manifesta-se diariamente, mesmo durante atividades físicas como comer e andar. O prejuízo para o relacionamento social e para o trabalho é considerável.

Segundo Zorzetto (2003), dados de 1996 do governo norte-americano apontam que, naquele país, cerca de 56 mil acidentes de trânsito tiveram como causas citadas pela polícia a sonolência ou fadiga do motorista. No Brasil, não há estatística oficial para este tipo de acidente. Porém, um estudo que se encontra em desenvolvimento no Departamento de Psicobiologia da Unifesp busca explicar os efeitos do sono em motoristas de ônibus em seu horário de trabalho (ZORZETTO, 2003). Uma das proposições do estudo é a redução da jornada de trabalho desses motoristas de 6 horas para 4 horas seguidas.

2.1.2.2 Ingestão de Álcool e Outras Drogas

De acordo com Fuller (2002), a ingestão de álcool pode afetar o desempenho do motorista por horas, pois o corpo precisa de tempo para metabolizar o álcool ou outra droga. Esse tempo de metabolismo varia de indivíduo para indivíduo. De maneira geral, uma pessoa que ingere álcool ou drogas começa por perder a inibição e logo após ter afetada a sua coordenação motora. Por fim, é gerado um quadro de sonolência.

Além da perda da inibição e da coordenação, da redução do discernimento e da ocorrência da sonolência, o álcool afeta, também, o desempenho do motorista através de redução progressiva do seu campo de fixação de atenção. Isso resulta em reações e planejamento mais lentos, contribuindo para a ocorrência de acidentes rodoviários.

Além do álcool, outras drogas lícitas (calmantes, antidepressivos...) e ilícitas também prejudicam o bom desempenho dos motoristas. Seu uso é tido como responsável por considerável parcela dos acidentes viários.

2.1.2.3 *Estresse*

O estresse também prejudica o desempenho do motorista, pois afeta sua concentração. O indivíduo estressado tende a se distrair com mais facilidade. O estresse é ainda responsável por favorecer a tendência de correr riscos, aumentando, por exemplo, a prática do excesso de velocidade. Entre as causas típicas de estresse na direção, estão:

- a) sobrecarga de trabalho;
- b) pressa (atraso ou perda do horário);
- c) pressão social;
- d) ruído acima de 86 dB (pode causar contrariedade, distração, fadiga, propensão a erros).

2.1.3 **Medidas de Identificação e Controle da Sonolência ao Volante**

O site da Autoban (empresa concessionária das rodovias Anhanguera e Bandeirantes, em São Paulo) contém dicas de como identificar o estado de sonolência ao volante e de como evitá-lo na estrada (AUTOBAN, 2003):

- a) como identificar o estado de sonolência ao volante: olhos insistindo em fechar; perceber que dirigiu por instantes sem ter consciência do que estava fazendo; sentir a cabeça tombar; dificuldade em manter o carro na pista; dificuldade em acompanhar a sinalização; bocejar com frequência;
- b) Como evitar a sonolência na rodovia: fazer refeições leves antes e durante a viagem; não fazer uso de bebidas alcoólicas ou remédios quando for dirigir; fazer

paradas para descansar a cada duas horas ou a cada 160 km e usar óculos escuros em dias ensolarados, devido à luz excessiva.

2.1.4 Efeito da Vibração e do Ruído Junto ao Sono

Segundo Souza (2000), em decorrência do sono, perde-se a percepção visual. Essa perda pode suprimir mais de 90% das informações recebidas pelo motorista. Durante o sono, a audição, o segundo sentido em quantidade de informação, assume o controle para detectar qualquer sinal de perigo, mantendo seus canais abertos. A perturbação pelo ruído é uma das perturbações mais críticas para interromper o quadro de sonolência, porque o silêncio se faz necessário para o sono ocorrer na melhor qualidade; caso contrário, o organismo tende a reagir. A partir do valor médio de 30 dB(A), aparecem reações perturbadoras desestruturando o sono.

Conforme Braga e Regazzi (2003), a vibração aparece como um importante agente físico que provoca desconforto. As vibrações que se transmitem ao corpo humano podem ser classificadas em dois tipos, segundo a região do corpo atingida: transmitidas ao corpo inteiro e as que atingem um segmento do corpo (localizadas).

Ainda segundo Braga e Regazzi (2003), os níveis-limite para determinação da resposta ao incômodo variam em função das características da vibração. As vibrações podem ser classificadas em: Contínuas, Aleatórias, Intermitentes e Choque Impulsivo, sendo esta última definida como uma excitação caracterizada por uma rápida subida para um valor de pico seguido de um decaimento.

2.2 GUIAS SONORAS

A segurança viária trabalha com dispositivos que visam reduzir os mais diversos tipos de acidentes. O tema deste trabalho se refere à utilização de Guias Sonoras como medida de redução de acidentes do tipo saída de pista. Para embasar este estudo, foram pesquisados conceitos sobre o dispositivo, bem como os tipos existentes e seus métodos construtivos.

Rumble Strips é uma nomenclatura internacional para o dispositivo de segurança viária. “Guias Sonoras” é uma boa tradução para o português, sendo utilizada com frequência

em Portugal. No Brasil, esse dispositivo também é chamado de “faixas sonorizadoras antiacidentes” ou “faixas vibratórias antiacidentes”. Todas essas nomenclaturas traduzem bem o significado do dispositivo.

2.2.1 Conceito e Uso das Guias Sonoras

De acordo com a Federal Highway Administration (FHWA, 2002), Guias Sonoras são saliências ou ranhuras, padronizadas, construídas no pavimento, no eixo ou no acostamento da rodovia. Por terem uma textura diferente do restante da superfície da rodovia, as Guias Sonoras produzem um repentino ruído quando os veículos passam sobre elas. Além do ruído, é gerada, também, uma vibração no veículo.

Os departamentos internacionais responsáveis por rodovias costumam utilizar as Guias Sonoras para advertir os motoristas que, eventualmente, saírem da faixa de tráfego, alertando-os a retornar à sua faixa de origem. As Guias Sonoras situadas na linha de eixo, usadas antes de interseções, especialmente as perigosas, têm a intenção de alertar a aproximação destas e desestimular ultrapassagens perigosas. As Guias Sonoras também são usadas em vias expressas, rodovias interestaduais, em praças de pedágios e no encontro de rodovias rurais onde há elevados índices de acidentes por saída de pista.

O Departamento de Transportes do Estado de Washington (WSDOT, 2002) define as Guias Sonoras como ranhuras ou saliências que marcam o pavimento perpendicularmente ao eixo das rodovias, na linha de bordo ou central, e servem para alertar motoristas desatentos e dar a direção para os mesmos.

Segundo o NCHRP (2000), Guias Sonoras, apresentadas na Figura 4, são faixas salientes ou entalhes localizados na superfície do pavimento da rodovia, com a intenção de fornecer ao motorista uma advertência audível e palpável para que ele reposicione o veículo longitudinalmente ou não cruze para outra faixa de tráfego. Essas faixas têm sido utilizadas nos Estados Unidos há décadas, para advertir sobre direitos de entrada, localizar zonas perigosas, tais como curvas nas quais ocorrem trocas de faixas, ajudar na sinalização de trânsito, ao longo dos acostamentos e ao longo do eixo da pista. No entanto, existem dois problemas relacionados à adoção de Guias Sonoras. O primeiro problema é o ruído causado

próximo a zonas urbanas e o segundo reside na dificuldade imposta aos ciclistas que precisam cruzar as Guias Sonoras.



Figura 4 – Guias Sonoras no Acostamento em Rodovia em Nova Iorque. Fonte: (www.tfhrc.gov/focus/sept99/rumble.htm)

Como o uso de Guias Sonoras pode ser particularmente prejudicial ao tráfego de ciclistas, o FHWA (2001) desenvolveu especificações objetivando contornar esse problema, não recomendando Guias Sonoras onde os acostamentos são utilizados por essa categoria de usuários. O FHWA (2001) ainda sugere a adoção de um espaço reservado para acomodar os ciclistas. Uma pesquisa executada pelo próprio FHWA, feita com os ciclistas, indicou que 17% acham que o uso deste dispositivo é desnecessário, 46% preferem que sejam utilizados sobre a faixa de tráfego, no limite com o acostamento, e 35% preferem que os locais de Guias Sonoras sejam o mais distante possível do acostamento, permitindo a utilização do acostamento totalmente para ciclistas. Normalmente, as Guias Sonoras são instaladas sobre o acostamento ao lado da linha de bordo.

Conforme Zaidel e Hakkert (1984) estudos noticiam o uso de Guias Sonoras para induzir os motoristas a diminuir velocidades e mostrar um modo diferente de conduta nas interseções e em outros pontos críticos. As Guias Sonoras são usadas desde 1954 (KERMIT and HEIN, 1962 apud ZIDEL,1984), mas ganharam popularidade durante os anos 70 quando centenas foram implementadas (CARSTENS, 1983 apud ZIDEL,1984).

2.2.2 Tipos de Guias Sonoras Mais Utilizados

Os vários tipos de Guias Sonoras existentes criam uma vibração e um aviso audível que alerta os motoristas. Segundo a AASHTO (1997), o tipo mais recomendado é o

construído continuamente ao longo do acostamento pavimentado ou sobre o eixo da via. Este tipo de tratamento é particularmente eficaz em seções de rodovias monótonas, onde motoristas tendem a ficar sonolentos.

O Departamento de Transportes do Estado de Washington (WSDOT, 2002) usa atualmente os seguintes tipos de Guias Sonoras:

- a) *Roadway Rumble Strips* (Guia Sonora de Pista);
- b) *Shoulder Rumble Strips* (Guia Sonora de Acostamento);
- c) *Centerline Rumble Strips* (Guia Sonora de Eixo).

A seguir são detalhados os três tipos de Guias Sonoras mais utilizados. Descrevendo-se o local de execução, suas indicações de uso e algumas experiências com seu uso.

2.2.2.1 *Roadway Rumble Strips* (Guia Sonora de Pista)

As Guias Sonoras de Pista (GSP) são executadas transversalmente sobre o pavimento da rodovia, ocupando toda a largura da pista. As GSP são usadas para alertar os motoristas que estão se aproximando de um cruzamento ou em uma condição de perigo que requer uma redução substancial de velocidade ou de atenção especial.

As GSP, apresentadas na Figura 5, têm sido usadas em um grande número de países que pretendem moderar velocidades ou alertar motoristas para os perigos que se aproximam, tais como entroncamentos, interseções, rotatórias ou curvas perigosas.



Figura 5 - Guias Sonoras de Pista. Fonte: (www.dublin.oh.us/city/deptdev/engineer/rumblestrips.html)

Esses dispositivos têm o efeito de emitir uma severa vibração através do veículo para o motorista e os passageiros, acarretando uma situação desconfortável, podendo gerar um ruído

considerável. Em áreas residenciais, o uso desse dispositivo é limitado devido ao ruído emitido pela vibração.

As GSP Pintadas - *Paint Strips* - tendem a ser mais baratas do que as Guias Sonoras de Pista convencionais. Os modos mais comuns de apresentação das Guias Sonoras de Pista são as faixas de superfície de textura grosseira ou faixas limitadas por material termoplástico. As GSP pintadas vêm sendo utilizadas há mais de 20 anos, para controlar a velocidade nas aproximações em interseções ou curvas (OWENS, 1967 apud ZIDEL ET AL, 1984). Estudos do TRRL indicam a utilização *Paint Strips* em aproximações de rotatórias (DENTON, 1973; WATTS, 1978; HELLIAR – SYMONS, 1981 apud ZIDEL ET AL, 1984). As GSP oferecem um óbvio impacto visual, podendo alertar o motorista sobre o perigo que se aproxima e atrair sua atenção.

2.2.2.2 *Shoulder Rumble Strips* (Guia Sonora de Acostamento)

A Guia Sonora de Acostamento (GSA) é o objeto principal deste trabalho. A GSA consiste de ranhuras instaladas ao longo do acostamento pavimentado, próximo ao bordo da rodovia. Seu uso deve ser adotado em lugares onde a rodovia apresenta monotonia, como, por exemplo, em trechos prolongados de retas. Segundo WSDOT (2002), esse tipo de Guia Sonora é o mais usado atualmente.

Alguns estudos norte-americanos têm demonstrado os benefícios do uso de Guia Sonora de Acostamento na redução de mortes e danos causados por motoristas desatentos. As metodologias utilizadas nesses estudos e seus resultados variam de estado para estado, mas todos os trabalhos mostram alguma redução de acidentes atribuídos à sua presença.

As GSA não são indicadas para evitar os acidentes por saída de pista causados por excesso de velocidade, por giros repentinos resultantes da tentativa de evitar colisões sobre a pista ou por saídas de pista com ângulos muito grandes. Nesses casos, alertar o motorista sobre sua saída de pista não é eficaz, visto não ser possível retomar o controle do veículo com segurança. As GSA são eficazes quando colocadas o mais próximo possível da linha de bordo, pois esse local proporciona aos motoristas a chance de retomar o rumo com um ângulo pequeno em um espaço curto de tempo e com segurança. Seções longas de retas e rodovias relativamente estreitas são boas candidatas à instalação de GSA.

As GSA têm o benefício adicional de proporcionar um aviso aos motoristas desatentos, possibilitando um complemento da linha de bordo em climas rigorosos, com muita chuva ou neve, nos quais a sinalização horizontal não é suficiente. Em condições de tempo adversas, a GSA possibilita uma melhor visualização das linhas, devido ao aumento de capacidade refletiva proporcionada por esse dispositivo, conforme apresentado na Figura 6.

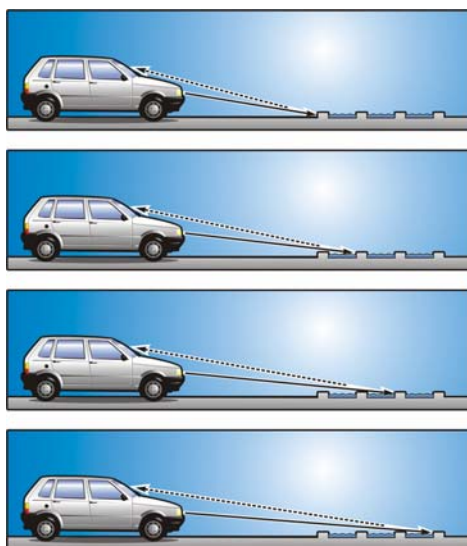


Figura 6 - Retrorreflexão do Dispositivo

As Guias Sonoras de Acostamento podem ser implementadas em rodovias recentemente construídas, restauradas ou em acostamentos existentes (concreto asfáltico ou cimento). As normas e especificações existentes para projetos de Guias Sonoras indicam detalhes construtivos, tais como espaçamento, profundidade, largura e distâncias entre as rugosidades, como se pode ver na Tabela 4 e detalhadas na Figura 7, apresentadas a seguir.

TABELA 4 - EXEMPLOS DE ESPECIFICAÇÕES DE PROJETOS EM DIFERENTES ESTADOS DOS EUA

<i>Estado</i>	<i>Espaçamento</i>	<i>Profundidade</i>	<i>Largura</i>	<i>Largura acost.</i>	<i>Dist. do bordo externo</i>
Arizona	200 mm	22 mm	0,6 m	3,0 m	0,3 m
Califórnia	200 mm	20 mm	1,0 m	3,0 m	0,3 m
Nevada	230 mm	22 mm	1,0 m	3,0 m	0,3 m

Fonte: AASHTO, 1997

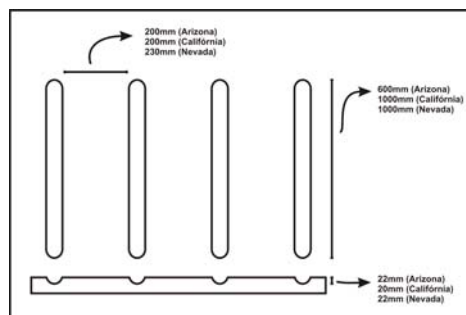


Figura 7 – Especificações de Projetos em Diferentes Estados dos EUA

2.2.2.3 Centerline Rumble Strips (Guia Sonora de Eixo)

As Guias Sonoras de Eixo (GSE) são utilizadas em rodovias onde não existe outro dispositivo de divisão de pistas, como, por exemplo, barreiras de contenção, como pode ser observado na Figura 8. A GSE alerta os motoristas que estão saindo da sua faixa de tráfego e invadindo a faixa de sentido oposto. Esse tipo de Guia Sonora ainda está em fase de testes, não sendo ainda utilizado em larga escala, segundo WSDOT (2002).



Figura 8 - Guia Sonora de Eixo. Fonte: (www.tfhr.gov/pubds/02mar/03.htm)

O uso de GSE é indicado em rodovias com alto volume de tráfego, evitando potenciais colisões frontais entre veículos. É recomendada, também, para pistas com faixas de rolamento muito estreitas, onde qualquer desatenção pode gerar uma mudança de rumo no veículo que pode invadir a pista de sentido contrário.

As GSE foram pesquisadas na Pensilvânia (NEWS REALISE PENNDOT, 2003), onde foram instaladas mais de 20 km de GSE em rodovias. Foi verificada uma melhor disciplina no fluxo de veículos. Em uma das rodovias, verificou-se uma redução de 90% nos acidentes do tipo colisão frontal.

2.2.3 Métodos Construtivos

De acordo com a Federal Highway Administration (FHWA, 2001), os métodos construtivos utilizados na execução de Guias Sonoras são os seguintes:

a) *Milled* (Ranhuras Conformadas no Local): compõem o método construtivo mais utilizado de Guias Sonoras em vários estados norte-americanos por ser o de mais fácil implementação. Esse tipo de ranhura pode ser executado em pavimentos novos ou existentes, de concreto asfáltico ou de cimento. Elas têm pouco ou nenhum efeito na integridade da estrutura do pavimento e produzem mais barulho e vibração que os métodos *Rolled* e *Formed* (apresentados a seguir).

No método construtivo *Milled*, as depressões executadas na superfície do pavimento normalmente possuem as seguintes medidas: na longitudinal, 180 mm e na transversal, 400 mm. A separação entre as ranhuras é de aproximadamente 300 mm, contado a partir do centro da ranhura, e a distância entre as ranhuras e a linha de bordo é de 100 a 300 mm (ver Figura 9).

Testes demonstram que o ruído e a vibração que as Guias Sonoras com Ranhuras Conformadas no Local causam são particularmente eficazes para a advertência de grandes caminhões que saem da rodovia. Um estudo determinou que Guias Sonoras com Ranhuras Conformadas no Local têm 12,6 vezes mais rugosidade e é 3,4 vezes mais alta do que Guias Sonoras com Ranhuras Cilíndricas, apresentada a seguir. O Departamento de Transportes de Virginia (FHWA, 2002) concluiu que o método com Ranhuras Conformadas no Local gera 335% mais ruído e produz 1260% mais vibração que o com ranhuras cilíndricas.

A execução das Ranhuras Conformadas no Local é feita a partir de uma máquina com cabeças cortantes rotatórias, que geram uma rugosidade uniforme ao longo do acostamento da rodovia. Recentemente, têm sido pesquisados cortes mais estreitos e rasos objetivando melhores resultados na vibração e no ruído.

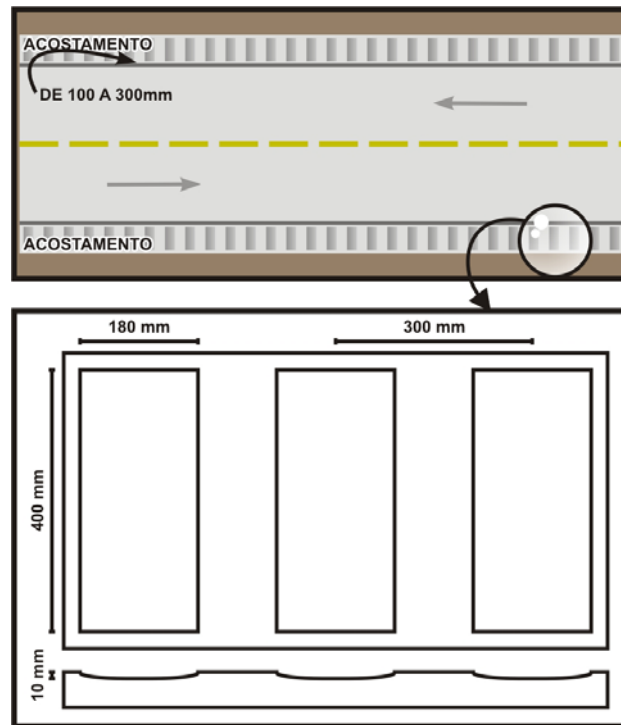


Figura 9 - Guias Sonoras com Ranhuras Conformadas no Local

b) ***Rolled*** (Ranhuras Cilíndricas): esse tipo de ranhura é bem menos utilizado do que as Ranhuras Conformadas no Local, pois a sua implementação exige condições construtivas específicas. As Guias Sonoras com Ranhuras Cilíndricas são impressas em rodovias com revestimento asfáltico ainda quente e nos acostamentos pavimentados quando da construção ou reconstrução da sua superfície, conforme Figura 10. Portanto, não podem ser utilizadas em rodovias já pavimentadas.



Figura 10 - Guias Sonoras com Ranhuras Cilíndricas. Fonte: (www.eng.ucalgary.ca/CSCE-Students/transportation_safety.htm)

As primeiras Guias Sonoras executadas, na década de 50, foram do tipo Ranhura Cilíndrica. As ranhuras cilíndricas apresentam uma rugosidade com aproximadamente 30 mm de profundidade e 40 mm longitudinalmente. A forma das ranhuras pode ser arredondada ou em V. Segundo as técnicas do FHWA (2002), as dimensões finais são geralmente de 25 mm de profundidade, de 50 a 64 mm na longitudinal e de 450 a 900 mm na transversal. A Figura 11 mostra um croqui com as dimensões desse tipo de Guia Sonora.

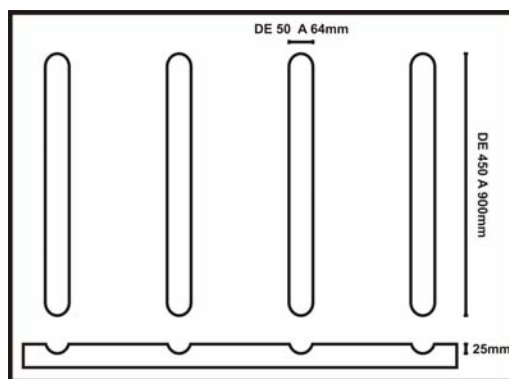


Figura 11 - Guias Sonoras com Ranhuras Cilíndricas

As ranhuras cilíndricas são moldadas com canos de aço soldados em tambores que fazem as marcas no asfalto ainda quente. A temperatura do asfalto é importante, pois, estando muito quente, as depressões resultam muito profundas e o material se despedaça depois de frio. Caso o asfalto esteja muito frio, as depressões não ficam suficientemente profundas e não produzem um ruído alto e vibrações fortes, reduzindo, assim, a eficácia no alerta aos motoristas.

c) *Formed* (Ranhuras Moldadas): esse método construtivo é similar às Guias Sonoras com Ranhuras Cilíndricas. A diferença entre eles está no tipo de pavimento no qual é construído. O método de Ranhuras Moldadas é aplicado sobre o pavimento de concreto de cimento. As ranhuras do tipo *Formed* são, também, mais profundas e mais largas do que as Guias Sonoras Cilíndricas, produzindo maiores ruído e vibração.

As Guias Sonoras com Ranhuras Moldadas são aplicadas com o concreto de cimento ainda fresco. As dimensões são semelhantes às de Ranhuras Cilíndricas.

d) *Raised* (Ranhuras Salientes): são elevações sobre o pavimento que podem ser executadas por uma grande variedade de produtos, tais como tachões, calotas, tintas termoplásticas (que formam rugosidades), tiras aderentes no pavimento novo ou existente, entre outros. A Figura 12 mostra um tipo de Guias Sonoras com Ranhuras Salientes, feito com material plástico ao longo do acostamento.



Figura 12 - Guias Sonoras com Saliências. Fonte: (www.davidsonplastics.net/whatsnew_arch2.htm)

As dimensões das Guias Sonoras com Ranhuras Salientes dependem do material utilizado. Frequentemente, as ranhuras desse tipo de Guia Sonora são refletivas para definir as linhas de tráfego à noite e sob condições do tempo adversas. Como sua altura pode variar de 6 a 13 mm, seu uso é indicado em climas quentes nos quais não são necessárias atividades de remoção de neve. As máquinas que executam essas remoções poderiam danificar o produto aplicado.

As Guias Sonoras com Ranhuras Salientes são bastante utilizadas como redutores de velocidades, se colocadas transversalmente sobre toda a largura da pista (GSP) próximo a locais perigosos, como interseções, rotatórias ou curvas perigosas.

NCHRP (2000) destaca os métodos construtivos de Guias Sonoras mais utilizados nos diferentes estados norte-americanos. De acordo com a Tabela 5, pode-se perceber uma preferência pelo método construtivo com Ranhuras Conformadas no Local, seguido pelas Ranhuras Cilíndricas.

TABELA 5 - DIFERENTES FORMAS CONSTRUTIVAS NOS DIFERENTES ESTADOS DOS EUA

Estado	Ranhuradas no Local	Ranhuradas Cilíndricas	Ranhuradas Moldadas	Ranhuradas Salientes
Alabama		X		
Arizona		X	X	
Califórnia		X		
Colorado		X		
Florida	X			X
Kentucky	X	X		
Michigan	X			
Minnesota	X			
Montana	X		X	
New York	X		X	
Pennsylvania	X			
South Carolina	X	X		
South Dakota		X		
Wyoming	X			

Fonte: NCHRP, 2000

2.2.4 Tipos de Acidentes Evitáveis com o Uso de Guias Sonoras

Os acidentes rodoviários podem ser classificados em: colisão, capotagem, tombamento, choque contra animais, atropelamento, saída de pista, entre outros. O uso de Guias Sonoras serve para prevenir, principalmente, os acidentes ocorridos por saída de pista. No entanto, dependendo do tipo de dispositivo implantado, acidentes como colisão frontal e atropelamento, entre outros, podem também ser evitados.

As Guias Sonoras utilizadas transversalmente sobre toda a extensão da pista (Guia Sonora de Pista) têm por principal objetivo induzir o motorista a uma redução de velocidade. Esses tipos de Guia Sonora são comumente dispostos em interseções, nas quais a causa mais comum de acidentes é o desrespeito às regras de prioridade nas aproximações secundárias. Esse problema geralmente ocorre em interseções rurais com baixo volume de tráfego. A redução insuficiente da velocidade durante a aproximação é um fator contribuinte importante na geração dos acidentes e na sua severidade.

A adoção de Guia Sonora de Pista também serve para prevenir acidentes em curvas angulosas, zonas industriais ao longo da rodovia e outras situações críticas. Ao provocar a redução da velocidade praticada pelos motoristas, as GSP são capazes de melhorar a margem de segurança em situações críticas, permitindo um maior tempo de reação em casos de paradas de emergência. Dessa forma, a severidade dos acidentes é mitigada, uma vez que ocorre uma redução nos níveis de energia dissipada em caso de colisões.

A Guia Sonora executada ao longo do acostamento, também chamada de Guia Sonora de Acostamento (GSA), serve para alertar motoristas desatentos que, inadvertidamente, deixam a faixa de tráfego, evitando, assim, acidentes do tipo saída de pista. Sabe-se que a desatenção dos motoristas é um fator contribuinte importante na ocorrência de acidentes do tipo saída de pista. Aproximadamente 1/3 de todas as fatalidades e danos severos ocorridos anualmente nos acidentes norte-americanos é causado por esse tipo de acidente (TFHRC, 2002).

As Guias Sonoras de Eixo (GSE) são utilizadas na tentativa de evitar colisões frontais entre veículos em sentidos opostos. As GSE evitam, portanto, a invasão do veículo na pista de sentido contrário. A colisão frontal é o tipo de acidente que envolve o maior número de pessoas e o que gera o segundo maior custo por acidente, perdendo, apenas, para os acidentes por Saída de Pista, como será visto no item 2.5 – Custos de Acidentes.

2.3 EXPERIÊNCIAS COM GUIAS SONORAS

Esta seção do trabalho é subdividida em dois tópicos: as experiências internacionais, levantadas na bibliografia, e as nacionais buscadas em visitas às principais empresas de fabricação e execução de Guias Sonoras no Brasil.

2.3.1 Experiência Internacional

A bibliografia revelou que as principais experiências no uso do dispositivo Guias Sonoras encontram-se nos Estados Unidos. Adicionalmente, países como Espanha, Canadá, Portugal e Austrália, dentre outros, também possuem experiências nesse sentido.

Segundo o FHWA (2002), a maioria dos 50 departamentos de transportes americanos pesquisados identificou uma relação benefício/custo na ordem de 50:1 na adoção de Guias Sonoras com Ranhuras Conformadas no Local. O Estado de Nevada obteve um resultado que varia entre 30:1 e 60:1 com a aplicação do dispositivo. Isso significa que, para cada dólar investido em Guias Sonoras, ter-se-ia uma redução de gastos com acidentes da ordem de 50 dólares. A seguir, são apresentadas experiências norte-americanas do uso do dispositivo como medida de redução de acidentes.

2.3.1.1 Washington State Department of Transportation (WSDOT)

Em 1992, o WSDOT (2002) instalou 70,4 km de Guias Sonoras de Acostamento em rodovias interestaduais, de maneira a testar seus resultados como redutor de acidentes por saídas de pista. Um estudo comparando a ocorrência de acidentes antes e depois da instalação da Guia Sonora indicou uma redução de 40% neste tipo de acidente. Já nas rodovias rurais, a redução foi de 35% nos acidentes por saída de pista.

O WSDOT (2002) continua adotando a colocação de dispositivo do tipo Guias Sonoras em todas as suas rodovias, porém seus critérios de instalação apontam apenas para as rodovias com alto índice de acidentes do tipo saída de pista, restringindo seu uso onde as Guias Sonoras podem conflitar com as necessidades dos ciclistas. A única limitação imposta para a adoção das Guias Sonoras é a impossibilidade de aplicação em rodovias pavimentadas com Tratamento Superficial Simples. Esse tipo de estrutura se mostra inadequado para suportar os recortes das Guias Sonoras com Ranhuras Conformadas no Local, gerando o “esfarelamento” do pavimento.

Conforme o WSDOT (2002), estudos adicionais apontam para a eficácia do uso de Guias Sonoras de Eixo. Resultados recentes, apresentados pela polícia, mostram uma redução de 78% dos acidentes por invasão de pista contrária com o uso de GSE. Atualmente, os estudos estão evoluindo para indicar locais apropriados para a colocação desse tipo de dispositivo.

Entre os principais problemas enfrentados pelo Departamento de Transporte de Washington, associados à adoção do dispositivo, destaca-se o desconforto imposto pelo ruído

produzido pela passagem dos pneus dos veículos sobre o dispositivo, que é considerado alto e inoportuno pelos moradores lindeiros.

De acordo com o NCHRP (2000), um sistema de canalização de tráfego com Guias Sonoras foi utilizado em sete interseções de uma rodovia do estado de Washington. Essa rodovia apresentava alto tráfego de caminhões, e a velocidade média nas interseções era de aproximadamente 90km/h, com exceção de dois acessos secundários onde a velocidade média era de 73km/h. Segundo o NCHRP, o estudo foi concluído em 1996, quando constatou-se uma redução de 50% nos acidentes.

2.3.1.2 *Oregon Department of Transportation (ODOT)*

Segundo TFHRC (2002), desde 1985, o Corredor Nordeste de Oregon começou a apresentar um aumento significativo nas taxas de acidentes, principalmente na taxa de colisões frontais causadas por invasões à pista contrária. Dentre vários dispositivos utilizados pelo Departamento de Transportes de Oregon (ODOT), para o tratamento da segurança viária, consta o uso de Guias Sonoras. Foram usadas Guias Sonoras de Acostamento e, pela primeira vez no estado de Oregon, foram adotadas Guias Sonoras de Eixo.

Segundo os engenheiros do ODOT, os custos de implantação e manutenção das Guias Sonoras sempre oferecem um bom resultado na redução de acidentes. Os usuários têm realizado manifestações muito favoráveis ao uso desse dispositivo afirmando que “ele evita graves acidentes e salva muitas vidas”.

2.3.1.3 *Pennsylvania Turnpike*

Conforme Hickey (1997), para ajudar a diminuir o número de acidentes causados por motoristas sonolentos, os engenheiros da *Turnpike Pensilvania* desenvolveram e instalaram um tipo de Guias Sonoras de Acostamento chamado, por eles, de *Sonic Nap Alert Pattern* (SNAP) – “modelo sonoro para alertar sobre a sonolência”. Durante o desenvolvimento do SNAP, vários comprimentos e profundidades de ranhuras foram testados para selecionar o desenho com som e vibração suficiente de ser percebida por um caminhão e não tão severo para um carro ou uma moto.

Depois da instalação do SNAP, os acidentes por saída de pista reduziram em 70%. Os resultados de estudos desenvolvidos de 1990 até 1995 indicam que aproximadamente 12% de todos os acidentes são considerados completamente suscetíveis ao tratamento com SNAP. Esses resultados levaram os engenheiros a acelerarem a instalação de SNAP em todos os segmentos de rodovia recentemente repavimentados, resultando um substancial benefício à segurança.

2.3.1.4 *Illinois e Califórnia*

De acordo com o NCHRP (2000), em 1995, frente ao crescente número de acidentes fatais nas rodovias da Califórnia, o departamento de trânsito local (CALTRANS) procurou uma alternativa para reduzir as colisões frontais. O Caltrans executou, então, Guias Sonoras de Eixo, formadas por uma barreira dupla de material termoplástico do tipo Profile (Guias Sonoras com Ranhuras Salientes), associada a uma faixa de Guias Sonoras com Ranhuras Conformadas no Local no meio, formando, portanto, uma espécie de “sanduíche”, com uma faixa de material termoplástico, uma faixa de Ranhuras Conformadas no Local e mais uma faixa de material termoplástico. A utilização de material termoplástico se deve à alta refletividade do material, necessário à noite. Os dados de acidentes foram monitorados por 25 meses, em 37 quilômetros de rodovias onde foi instalado esse dispositivo. O resultado foi uma redução de 4,5 para 1,9 acidente por mês. Houve, portanto, uma redução de 42,2% no total de acidentes no segmento.

Hanley, Gibby e Ferrara (2000) comentam a influência das Guias Sonoras no cálculo dos Fatores de Redução de Acidentes (*Accident Reduction Factors – ARF*) utilizados pelo Departamento de Transporte da Califórnia. Esses fatores são mecanismos utilizados para calcular o efeito de determinadas medidas de segurança viária sobre a rodovia. Entre as medidas indicadas para serem usadas no cálculo das ARF estão as Guias Sonoras, o acostamento amplo, a superelevação e curvas adequadas, entre outras. A consideração explícita das Guias Sonoras no cálculo das ARF demonstra que o dispositivo tem importante papel na provisão da segurança viária.

Griffith (1999) relata estudos baseados nos dados de acidentes dos estados de Illinois e Califórnia, onde foram estimados os efeitos de Guias Sonoras de Acostamento na redução dos acidentes em freeways rurais e urbanas. Foram incluídos no estudo apenas os acidentes

decorrentes de desatenção dos motoristas, incluindo distração, fadiga, sonolência e efeitos de álcool e drogas. Os resultados das avaliações mostraram que houve redução média de 18,5% na ocorrência desses acidentes em todas as freeways. Também se verificou uma redução de 13% no total de danos. Em Illinois o dispositivo escolhido foi do tipo Ranhuras Cilíndricas, em 63 locais distintos (457,4 km) instalados em ambos os lados do acostamento. Já na Califórnia foram estudados 28 locais (197,1 km), onde em 19 as ranhuras foram instaladas nas duas direções e em 9 em apenas um lado do acostamento.

Segundo o TFHRC (2002), em 1985, o Caltrans executou um estudo do tipo antes/depois sobre o uso de Guias Sonoras ao longo de rodovias interestaduais. Foram instaladas Guias Sonoras ao longo de 15 rodovias interestaduais e 40 na zona rural de São Bernardino. O estudo revelou uma queda de 49% no número de acidentes por saída de pista em áreas onde o dispositivo foi usado. O estudo revelou ainda que, em segmentos de freeways, os danos decorrentes de acidentes por saída de pista foram reduzidos em 33%.

Ainda de acordo com o TFHRC (2002), na Rota 301, na Califórnia, a aplicação-piloto de Guias Sonoras de Eixo obteve um excelente resultado. Após a experiência com as GSE, foram instaladas, também, Guias Sonoras de Acostamento (GSA) ao longo de toda a rodovia. A implantação desses dispositivos resultou em um decréscimo de 90% nas colisões, e o número de vítimas fatais caiu para zero. Também foi constatado um aumento de 30% no tráfego, nessa rodovia, no mesmo período. Acredita-se que o maior nível de segurança ofertado possa ter atraído um maior número de usuários para a Rota 301.

Conforme Griffith (1999), em Illinois, a Guia Sonora adotada é do tipo Cilíndrica, executada sobre o asfalto ainda quente. Nesse estado, foram projetados 457,4 km de Guias Sonoras, executadas em 63 locais diferentes ao longo de uma mesma rodovia. Os resultados alcançados indicaram uma redução de 18,3% nos acidentes do tipo saída de pista com um desvio-padrão de $\pm 6,8\%$.

2.3.1.5 Estado de Utah

Segundo Cheng *et al* [199_?], em Utah, os engenheiros de segurança reconhecem os benefícios oferecidos pela instalação das Guias Sonoras. O dispositivo é muito utilizado em situações de recapeamento, restauração ou reabilitação do pavimento. Tendo em vista as potencialidades da Guia Sonora, o Departamento de Transportes de Utah (UDOT)

desenvolveu um estudo sobre o uso de Guia Sonora de Acostamento do tipo Cilíndrico, no qual foram comparadas situações com e sem o dispositivo, em rodovias com características semelhantes. No estudo, não foram considerados os segmentos que contêm interseções.

As características dos trechos estudados são apresentadas a seguir:

- a) **trechos com Guia Sonora:** pavimento de concreto (11 segmentos, em um total de 120 km) e pavimento de asfalto (30 segmentos, em um total de 177 km);
- b) **trechos sem Guia Sonora:** 35 segmentos, tanto em pavimentos de asfalto como de concreto, totalizando 176,6 km.

Nesse estudo, os dados de acidentes foram coletados entre os anos de 1990 e 1992. As comparações entre essas taxas de acidentes (número de acidentes por milhões de veículos por milha) são mostradas na Tabela 6. Através dos resultados do estudo, é possível perceber o efeito do uso do dispositivo. Nos trechos onde a Guia Sonora não foi utilizada, o número de acidentes foi até 33,4% maior que nos trechos onde o dispositivo foi adotado.

TABELA 6 - COMPARAÇÃO ENTRE TAXAS DE ACIDENTES

	Taxa de acidentes (nº de acidentes por milhões de veículos por milha)	
	Com Guia Sonora	Sem Guia Sonora
Acidentes de Todos os Tipos	0,713	0,951 (33,4% maior)
Acidentes por Saída de Pista	0,394	0,500 (26,9% maior)

Fonte: Cheng, Gonzalez, and Christensen, 199_?

As Guias Sonoras executadas em pavimentos de concreto foram impressas no pavimento, sendo construídas pelo método de Ranhuras Moldadas. Já nos pavimentos asfaltados, os dispositivos são contínuos e recortados, sendo construídas pelo método de Ranhuras Conformadas no Local. Os resultados das taxas de acidentes verificados na superfície de concreto e de asfalto são apresentados na Tabela 7. Observou-se, nesse estudo, que Guias Sonoras em asfalto reduzem mais acidentes do que a executada em concreto. A redução do número de acidentes do tipo saída de pista, em pavimentos de concreto, foi 23,8% maior do que a redução do número de acidentes em pavimento asfáltico.

TABELA 7 - COMPARAÇÃO ENTRE TAXAS DE ACIDENTES NOS DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTO

	Taxa de Acidentes	
	ASFALTO	CONCRETO
Acidentes de Todos os Tipos	0,682	0,797 (16,7% maior)
Acidentes por Saída de Pista	0,370	0,458 (23,8% maior)

Fonte: Cheng, Gonzalez, and Christensen, 199_?

Baseados no estudo realizado, os técnicos do UDOT recomendaram a instalação de Guias Sonoras ao longo dos acostamentos das rodovias, dando-se prioridade para aquelas rodovias com altas taxas de acidentes por saída de pista. Também foi indicado o uso de Guias com Ranhuras Conformadas no Local por serem de mais fácil execução nessas situações.

2.3.1.6 Federal Highway Administration (FHWA)

Em publicação do FHWA (2002), é destacado que diferentes estados têm analisado a razão benefício/custo do uso de Guia Sonora de Acostamento. Essa análise envolve, de um lado, os custos de instalação e manutenção das Guias Sonoras, e de outro, os benefícios advindos da redução dos gastos com fatalidades e com a recuperação de danos dos acidentes evitados pela adoção do dispositivo.

Desde 1990, o Departamento de Transportes de Nova Iorque tem desenvolvido o Programa STARS – *Shoulder Treatment for Accident Reduction*, no qual mais de 800 km de acostamentos asfaltados foram tratados com o dispositivo de Guias Sonoras. O Programa STARS revelou uma redução de 72% nos acidentes ocorridos por sonolência, em um período de 7 anos (GOLDEN, 1992).

Já em Nevada, foram analisados dados de um projeto no qual foram utilizadas Guias Sonoras junto com outros dispositivos de segurança. A razão benefício/custo, nesse caso, variou entre 30:1 e 60:1. A conclusão a que se chegou foi de que o dispositivo provou ser mais eficaz quando aplicado com outros dispositivos, incluindo defensas, tratamento de bueiros e suavização de rampas (TFHRC, 2002).

2.3.2 Experiência Nacional

A experiência brasileira no uso de Guias Sonoras ainda é bastante limitada. Algumas empresas brasileiras possuem a tecnologia e o conhecimento suficientes para fornecer o serviço, mas têm encontrado dificuldades comerciais. Provavelmente por desconhecerem as potencialidades do dispositivo, os órgãos públicos e as operadoras privadas, tais como as concessionárias rodoviárias, não demonstram interesse em implantar Guias Sonoras em suas rodovias.

A realidade norte-americana revela o quanto estão defasados os estudos sobre Guias Sonoras no Brasil. As demonstrações-piloto implementadas em rodovias concessionadas paulistas não foram levadas adiante. As empresas capazes de executar o serviço ainda não conseguiram realizar, de maneira efetiva, estudos do tipo antes/depois para comprovarem a eficácia das Guias Sonoras. A idéia dessas empresas nacionais é de, em um primeiro momento, executar e/ou aplicar Guias Sonoras em rodovias pedagiadas, onde o controle de acidentes é mais rigoroso e a superfície do pavimento encontra-se em condições de receber a implantação de Guias Sonoras.

Durante a execução deste trabalho, foram realizadas visitas a duas das empresas nacionais capacitadas em aplicar e/ou executar Guias Sonoras. Essas empresas não são concorrentes diretas no fornecimento de Guias Sonoras, pois oferecem tecnologias diferentes. Uma é fabricante de um tipo de tinta para sinalização que forma saliência sobre o pavimento (Guias Sonoras com Ranhuras Salientes); a outra executa o tipo Guias Sonoras com Ranhuras Conformadas no Local sobre pavimento de concreto asfáltico. Ambos os produtos estão descritos a seguir.

2.3.2.1 Tinta Plástica Executada a Frio

A Empresa Hot Line Indústria e Comércio Ltda. é especializada em produtos para demarcação viária. A empresa tem seus produtos testados e aprovados junto aos principais órgãos Federais, Estaduais, Municipais, à ABNT e a Concessionárias (Nova Dutra e outras). Dentre os diversos produtos oferecidos pela mesma, está o Megaline. O Megaline é um plástico executado a frio à base de resina Degaroute (metilmetacrilato). Esse produto,

desenvolvido em parceria com a empresa alemã Degussa-Hüls, é fabricado no Brasil com exclusividade pela Hot Line.

Essa tinta é utilizada em sinalização horizontal, possuindo, segundo os fabricantes, uma vida útil de aproximadamente 10 anos, com aderência em pavimentos de asfalto e de concreto. O tempo de processamento e de endurecimento desse material é ajustado ao método de aplicação, resultando em uma otimização do tempo de processamento (3 a 15 minutos), o que possibilita a liberação do tráfego logo depois da sua instalação (10 a 30 minutos). Em temperaturas baixas, pode-se aumentar a quantidade de agente endurecedor, de acordo com o respectivo tipo de resina, podendo-se atingir tempos de endurecimento de 15 a 25min a 5°C.

Segundo Degussa (2002) o Megaline oferece vários métodos de aplicação, apresentando-se sob formas diferentes de superfície (plana ou rugosa ou com pequenas elevações). Portanto, esse produto pode ser aplicado na forma convencional, com espessura uniforme e contínua ou em relevo do tipo *Profile*, que se constitui na Guia Sonora com Ranhuras Salientes, como pode ser visualizado na Figura 13 apresentada a seguir.



Figura 13 - Megaline tipo *Profile*. Fonte: (Hot Line, 2003)

O Megaline é particularmente indicado para produzir marcações de relevo, visto que não será deformado nem mesmo em altas temperaturas quando da passagem de tráfego. Esse tipo de aplicação rugosa tem como objetivo proporcionar uma alta retrorefletância sob condições de chuva à noite, devido à sua capacidade drenante entre as elevações, além de proporcionar um efeito vibratório e sonoro.

Segundo Neumann (2002), o contraste entre o pavimento e a pigmentação do material de sinalização propicia um aumento de visibilidade das faixas em baixas condições de iluminação. A retrorefletância é fornecida pelas microesferas de vidro. Acima de tudo, os

materiais para demarcação têm de se adaptar ao dúctil asfalto. O uso de resinas sintéticas rígidas ou à base de borracha elástica pode provocar a quebra do asfalto ou do material sintético, levando o pavimento ao esfarelamento, devido à flexibilidade das demarcações. Com Megaline, esse risco é excluído, principalmente em regiões frias, mostrando excelente adesão sobre superfícies de asfalto e concreto. O produto é muito resistente a abrasão, óleo, gasolina e óleo diesel. Devido às suas características, esse produto alcança altos níveis de durabilidade em todas as superfícies.

As técnicas de aplicação do produto (Megaline) são muitas e variam em função do objetivo do trabalho (se usadas em faixas ou bordos de rodovia, faixas de pedestres, etc.) e de sua extensão. O Megaline pode ser aplicado manualmente, por sapata de arrasto (estrutura de metal com fenda na parte inferior que, ao se locomover para frente, despeja o produto na espessura desejada), por máquinas conduzidas manualmente (Plastomaker), por extrusão, ou por aspersão-spray. Para o tipo *Profile*, as técnicas indicadas são as que possibilitem a execução de diferentes espessuras, como a sapata e o Plastomaker, mostradas nas Figuras 14 e 15. O princípio de aplicação do plastomarker é muito semelhante ao da sapata, porém com um rendimento maior, segundo o folder de divulgação da empresa Hot Line.

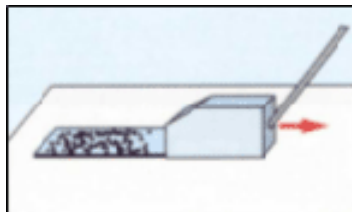


Figura 14 - Técnica de Aplicação por Sapata de Arrasto. Fonte: (Hot Line, 2003)

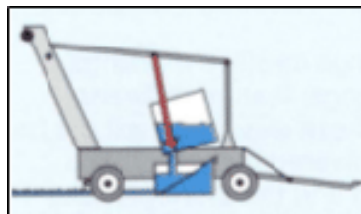


Figura 15 - Técnica de Aplicação por Plastomaker. Fonte: (Hot Line, 2003)

A Empresa Hot Line fabrica e aplica a tinta Megaline em larga escala pelo Brasil, mas apenas no sistema Spray e Extrudados, por servirem como substitutos das tintas

termoplásticas e acrílicas hoje existentes no mercado. O sistema *Profile*, que é o dispositivo do tipo Guia Sonora com Ranhuras Salientes, por sua vez, ainda não é aplicado no país de forma significativa.

O tipo *Profile* foi aplicado a título de demonstração na Rodovia Nova Via Dutra, há 4 anos, em um segmento de aproximadamente 500 metros, na linha divisória de faixa (tipo Guia Sonora de Eixo). O estudo desse dispositivo nunca foi levado adiante. As GSE encontram-se, atualmente, na rodovia em perfeitas condições, conforme mostrado nas Figuras 16 e 17.



**Figura 16 - Vista Geral do Megaline Profile Aplicado na Nova Via Dutra – SP.
Fonte: (Foto obtida no local, outubro/2003)**



**Figura 17 - Detalhe do Megaline Profile Aplicado na Nova Via Dutra – SP.
Fonte: (Foto obtida no local, outubro/2003)**

2.3.2.2 Guia Sonora com Ranhuras Conformadas no Local Sobre Pavimento de Concreto Asfáltico

A Empresa Paulifresa, criada em 1990, é especializada no ramo de fresagem e reciclagem de pavimentos. É a única empresa nacional que possui equipamento capaz de executar Guia Sonora com Ranhuras Conformadas no Local, no Brasil. As chamadas Faixas Sonorizadoras Antiacidentes executadas pela Empresa Paulifresa são ranhuras feitas ao longo

da linha de marcação de bordo de pista, obtidas através de fresagem do pavimento. As ranhuras são executadas com espaçamento de 12 cm entre elas, de forma a produzir ruído característico alertando o motorista sobre a proximidade do bordo da pista de rolamento, evitando, dessa forma, um possível acidente.

Segundo Folder de divulgação (2003), a Paulifresa Fresagem e Reciclagem importou, no ano 2000, a Fresadora W350, um equipamento exclusivo no país, capaz de executar as Guias Sonoras com Ranhuras Conformadas no Local (Figura 18). Esse equipamento possui um “disco” (Figuras 19 e 20), o qual, ao ser acoplado na fresadora, é capaz de executar Guias Sonoras. Essa peça é a responsável pelos sulcos formados no pavimento de concreto asfáltico, sendo suas dimensões padronizadas devido ao tamanho da peça. Esse rolo de fresagem pode facilmente executar de 50 a 60 ranhuras por minuto, resultando em uma média de produção de 800 m de Guia Sonora por hora.



Figura 18 - Fresadora W350 – Wirtgen. Fonte: (foto obtida no local, outubro/2003)



Figura 19 - Vista Frontal do Disco Acoplado ao Equipamento. Fonte: (foto obtida no local, outubro/2003)



Figura 20 - Vista Lateral do Disco Acolado ao Equipamento. Fonte: (foto obtida no local, outubro/2003)

Em 2000, a Empresa executou demonstrações de Guias Sonoras para diversas concessionárias rodoviárias, principalmente no estado de São Paulo. A seguir, algumas experiências implantadas:

- a) na Via Dutra, BR-116, próximo à Santa Isabel, foi executado 1 quilômetro de Guias Sonoras ao longo do acostamento, em um local de aclive com a intenção de inibir o uso do mesmo por caminhões que, por não haver 3ª faixa, o utilizavam. A Guia Sonora também foi executada no bordo interno da rodovia, próximo às barreiras tipo New Jersey (conforme Figuras 21 e 22);



Figura 21 - Detalhe da Execução de Guia Sonora no Acostamento. Fonte: (Arquivo da Empresa Paulifresa)



Figura 22 - Guias Sonoras no Bordo Interno. Fonte: (Arquivo da Empresa Paulifresa)

b) na Rodovia SP/310, trecho Washington Luis – Santa Gerturdes, foram executados 500 metros de Guias Sonoras com Ranhuras Conformadas no Local. Esse trecho foi selecionado para auxiliar no controle de saída de pista decorrente de neblina intensa, muito freqüente no local (conforme Figura 23);



Figura 23 - Guias Sonoras na Rodovia SP/310. Fonte: (Arquivo da Empresa Paulifresa)

c) na Rodovia SP/330, trecho Anhanguera – Ribeirão Preto, também foram implantados 2 quilômetros de Guias Sonoras, utilizadas como advertência para os veículos que deixam a faixa de rolamento (Figura 24).



Figura 24 - Guias Sonoras na Rodovia SP/330. Fonte: (Arquivo da Empresa Paulifresa)

2.4 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE GUIAS SONORAS

Com o objetivo de complementar o estudo sobre Guias Sonoras, buscaram-se no mercado os custos de sua implantação. Esses custos foram obtidos através de pesquisa bibliográfica e de contato direto com fornecedores do serviço, em empresas localizadas no Brasil. A pesquisa desses custos de implantação do dispositivo foi dividida em custos nacionais e internacionais.

2.4.1 Custos Nacionais

- a) Guias Sonoras com Ranhuras Conformadas no Local (executadas pela Empresa Paulifresa – Brasil)

A Empresa Paulifresa Fresagem e Reciclagem Ltda., em sua tabela de preços, disponibiliza o serviço de implantação do dispositivo por R\$ 4.000,00/km, em valores de julho de 2003. Transformando esse valor para dólares, o custo é de US\$ 1.398,60/km,

- b) Megaline (fabricado pela Empresa Hot Line – Brasil)

A Tinta Megaline, desenvolvida pela Empresa Hot Line Indústria e Comércio Ltda., é uma tinta com custo maior em relação às tintas usuais comumente

utilizadas no Brasil. Essa diferença nos valores se dá em função dos custos de importação da matéria-prima desenvolvida pela empresa alemã Degussa-Hüls.

O custo da Tinta Megaline é de 20,50 marcos alemães/m² (DM/m²) ou US\$ 13,14/m². O custo do produto aplicado varia de 33 a 66 DM/m², em dólares de US\$ 21,12 a 42,24/m². A tabela de preços apresentada a seguir, utilizada pela Empresa Hot Line, mostra a diferença dos custos das tintas termoplásticas e a frio em relação à tinta Megaline (plástico a frio). É necessário destacar que a Guia Sonora é obtida através da aplicação extrudada da tinta Megaline. O custo em quilômetro linear, obtido considerando-se uma faixa de 35 cm de largura de Megaline, é de 7.175,00 DM/km ou R\$ 4.599,00/km.

A seguir, é apresentada a Tabela 8, mostrando o comparativo entre custos dos diferentes tipos de tinta na Alemanha.

TABELA 8 - COMPARATIVO DE CUSTOS

Sistemas de Demarcação Espessura	Preço material DM/kg	Consumo material kg/m²	Custo material DM/m²	Custo aplicado DM/m²	Durabilidade em anos
Termoplástico Extrudado 2,5mm	1,43	5,50	13,50	25-30	3-5
Termoplástico Hot Spray 1,2mm	3,40	2,20	7,50	15-25	2-3
Pintura a frio altos sólidos 0,4mm	3,75	0,80	3,00	5,5-8,8	0,5-1
Plástico a frio extrudado 2,5mm	4,10	5,00	20,5	33-66	7-10
Plástico a frio spray 0,75mm	6,00	1,40	8,40	15-25	4-6

Fonte: Adaptado de Hot Line – Brasil, 2003

De acordo com o comparativo de preços apresentados na Tabela 8, percebe-se que os custos com essa tinta são superiores em relação às outras tintas normalmente utilizadas. Porém, cabe destacar que somente esse material possibilita a realização do dispositivo de Guias Sonoras.

2.4.2 Custos Internacionais

Segundo DelDot (2003), na rodovia US 301, em Delaware, o custo de instalação de Guias Sonoras de Eixo foi inferior a US\$ 3.000,00/km de rodovia.

De acordo com o Departamento de Transportes do Reino Unido, a Guia Sonora implantada com material termoplástico tem seus custos em torno de £500 a £1,500 por km, o que representa em dólares aproximadamente de US\$ 820,00 a US\$ 2.450,00/km (UK DEPARTMENT FOR TRANSPORTS, 2003).

A instalação de SNAP, um tipo de Guias Sonoras de Acostamento utilizada pela Pennsylvania Turnpike, em ambos os acostamentos por aproximadamente uma milha (1,61km) de rodovia pode ser executada a um custo de US\$ 5 mil (HICKLEY, 1997). Isso representa um custo de US\$ 1.560,00/km de SNAP.

Conforme o NCHRP (2000), a instalação do conjunto de barreira dupla de material termoplástico associada a Guias Sonoras com Ranhuras Conformadas no Local no meio da barreira dupla, em 37 km de rodovias na Califórnia, em novembro de 1996, teve um custo estimado de US\$ 789.000,00, o que resultou em, aproximadamente US\$ 21.325,00/km. Já a instalação de Guias Sonoras como canalização de 7 interseções em Washington custou aproximadamente US\$ 1,5 milhão.

2.5 CUSTOS DE ACIDENTES

Os custos decorrentes dos acidentes viários são de especial relevância entre as externalidades negativas produzidas pelo trânsito. De fato, os acidentes viários impõem um alto custo econômico e social para a sociedade. Por esse motivo, a magnitude e a composição dos custos envolvidos na ocorrência de acidentes viários têm sido foco de pesquisas desenvolvidas nacional e internacionalmente.

2.5.1 Composição dos Custos dos Acidentes Viários

De acordo com Burke [199_?], os elementos incluídos na estimativa de custos de acidentes se dividem em gastos associados aos custos diretos e aos custos indiretos. Os custos

diretos incluem todos os gastos com danos aos veículos, despesas médicas (incluindo médicos, hospital, remédios e serviço de ambulância), custos legais, valor do tempo de trabalho perdido, entre outros. Os custos indiretos são gastos relacionados aos acidentes como perda futura de produção, perda da capacidade de lucrar devido aos danos causados e atividades de prevenção de novos acidentes.

De acordo com o IPEA (2003, p.4), os custos de falha de segurança são definidos pela identificação dos impactos causados por um acidente de trânsito e seus desdobramentos. Nesses custos, incluem-se o tratamento e a reabilitação de vítimas, a recuperação ou reposição dos bens materiais danificados, os custos administrativos e as perdas econômicas e previdenciárias ocorridas. Enfim, são levados em consideração os seguintes itens:

- **Custo da Perda de Produção**

Corresponde às perdas econômicas sofridas pelas pessoas, decorrente da interrupção temporária ou permanente de suas atividades produtivas, devido ao envolvimento em acidentes de trânsito. Aplica-se a pessoas inseridas nos mercados formal e informal de trabalho. Sendo um assalariado, essa perda equivale ao custo necessário para sua substituição durante o tempo não trabalhado.

- **Custo dos Danos aos Veículos**

Custo de recuperação ou reposição dos veículos danificados nos acidentes de trânsito.

- **Custo Médico-hospitalar**

Soma dos custos dos recursos humanos e materiais do atendimento e tratamento das vítimas de acidentes de trânsito, desde a chegada ao hospital até o momento da alta ou do óbito. Inclui, também, os custos dos programas de reabilitação, tais como fisioterapia.

- **Custo de Processos Judiciais**

Custo do funcionamento da estrutura judicial em função de acidentes de trânsito.

- **Custo de Congestionamento**

Soma dos custos relativos ao tempo perdido pelos ocupantes de veículos retidos no tráfego e ao aumento do custo de operação desses veículos, em função de congestionamentos gerados pelo acidente.

- **Custo Previdenciário**

Custo que recai sobre a Previdência Social em função da impossibilidade de trabalhar de vítimas de acidentes de trânsito, temporária ou permanente, sendo sustentadas parcialmente pela Previdência. Esse custo inclui despesas com pensões e benefícios.

- **Custo de Resgate de Vítimas**

Custo do transporte das vítimas de acidentes de trânsito do local do acidente até o hospital ou pronto-socorro. Inclui o custo da utilização de equipamentos especiais e do deslocamento das equipes de resgate, com veículos e profissionais especializados (ambulâncias, médicos e paramédicos).

- **Custo de Remoção de Veículos**

Custo de utilização de guinchos ou outros meios para remover os veículos avariados do local do acidente até a oficina, pátio ou delegacia. Inclui o aluguel do veículo e o tempo de serviço do técnico responsável.

- **Custo dos Danos ao Mobiliário Urbano e à Propriedade de Terceiros**

Custo de reposição/recuperação de equipamentos urbanos e de propriedades de terceiros danificados ou destruídos em função de acidentes de trânsito. O mobiliário urbano compreende abrigos de ônibus, postes, orelhões, bancas de revistas, caixas de correio e gradis.

- **Custo de Outro Meio de Transporte**

Soma de despesas do acidentado com passagens de ônibus, táxi e aluguel de veículo decorrentes de necessidade de locomoção no período posterior ao acidente em que o veículo ficar sem condições de uso.

- **Custo dos Danos à Sinalização de Trânsito**

Custo de reposição ou recuperação da sinalização danificada ou destruída, em função de acidentes de trânsito. Consiste em elementos tais como postes de sustentação de sinalização, placas de sinalização, equipamento semafórico, defensas, barreiras, entre outros.

- **Custo do Atendimento Policial e dos Agentes de Trânsito**

Soma dos custos do tempo dos policiais e/ou agentes de trânsito e da utilização de veículos para atendimento no local do acidente, hospital ou delegacia.

- **Custo do Impacto Familiar**

Custo que representa o impacto do acidente no círculo familiar da(s) vítima(s). É representado, principalmente, pelo tempo gasto por familiares, para sua eventual produção cessante e por adaptações na estrutura familiar (moradia, transporte) por conta do acidente.

O conhecimento desses custos deve auxiliar as agências responsáveis pela segurança rodoviária a desenvolver maneiras eficientes de empregar os escassos recursos financeiros em ações preventivas nas rodovias, de forma que a economia nacional não seja escoada pelos acidentes rodoviários. Nos países em desenvolvimento, a importância de identificar o impacto econômico e social de um acidente é maior ainda, sendo possível definir prioridades de investimento e melhorar a avaliação econômica de projetos de segurança viária.

2.5.2 Custos por Tipo de Acidentes

Os custos dos diferentes tipos de acidentes propostos por Andreassen (1992) foram estimados para acidentes rurais e urbanos. Esses valores foram avaliados a partir de dados de cerca de 200 acidentes de cada tipo, coletados em 40 zonas rurais e urbanas em Vitória, na Austrália, nos anos de 1987 e 1988.

Os custos estimados por Andreassen (1992) levaram em conta os custos com as pessoas envolvidas em cada tipo de acidente, os custos com reparo de veículos em cada tipo de acidente e outros custos por acidente, tais como investigação, custos legais e administrativos. A Tabela 9 sintetiza os valores propostos, por tipo de acidente, em ambiente rural e em ambiente urbano.

TABELA 9 - CUSTOS POR TIPO DE ACIDENTES EM ZONAS URBANAS E RURAIS

Descrição do Acidente	Custo Total do Acidente (x US\$100)	
	Zona Urbana	Zona Rural
Apenas um veículo envolvido		
Pedestre atravessando a rodovia	89.300	103.700
Obstrução permanente	42.300	43.300
Impacto contra animais	20.200	16.900
Saída de pista em reta	30.600	48.500
Saída de pista em reta com impacto contra animais	55.600	86.500
Perda de controle em retas	43.300	53.700
Saída de pista em curvas	43.600	82.300
Saída de pista em curva com impacto contra animais	68.400	106.900
Perda de controle em curvas	39.500	53.400
Dois veículos envolvidos		
Interseção, aproximações adjacentes	43.200	68.200
Colisão frontal	88.700	154.000
Colisão em esquina	53.600	76.500
Colisão na traseira	26.300	48.300
Mudança de faixa	21.200	50.700
Sinuosidade em faixas paralelas	25.400	40.100
Retorno	43.600	57.000
Veículo em fuga	35.000	54.300
Colisão com veículos em mesmo sentido	21.100	41.900
Em estacionamentos	43.600	-
Colisão sobre ferrovias	119.100	240.200

Fonte: adaptado de Andreassen, 1992

De acordo com a Tabela 9, os custos de acidentes do tipo saída de pista estão entre os maiores, tanto nos acidentes ocorridos em tangente (reta) como em curvas, sendo que são maiores na zona rural do que na urbana.

Em outro estudo realizado por Andreassen (1984), os custos dos acidentes do tipo saída de pista também se mostraram expressivos quando comparados com os demais tipos analisados. Nesse estudo, os tipos de acidentes foram colocados em ordem de custos por acidentes, que é o custo total de um acidente, e custos por veículos, custo dos danos materiais relacionado apenas ao veículo, conforme a Tabela 10 apresentada a seguir.

TABELA 10 - COMPARAÇÃO ENTRE CUSTOS POR ACIDENTES X CUSTOS POR VEÍCULOS

Ordem de Custos	Custos por Acidentes	Custos por Veículos
1º	Saída em curva	Saída em curva
2º	Colisão frontal	Saída em reta
3º	Interseções	Colisão frontal
4º	Abalroamento	Interseções
5º	Saída em reta	Abalroamento
6º	Colisão traseira	Colisão traseira
7º	Choque em estacionamento	Choque em estacionamento
8º	Travessia	Travessia

Fonte: Andreassen, 1984

Pelos resultados dos estudos pesquisados, percebe-se que os acidentes do tipo saída de pista, tanto em tangentes como em curvas, causam danos humanos e materiais consideráveis. Assim sendo, dentre os tipos de acidente apresentados, eles envolvem um maior custo.

2.5.3 Método para Estimativa dos Custos de Acidentes

Segundo estudo desenvolvido pelo DFID (2001), entre os métodos de avaliação de custos, o Método do Capital Humano talvez seja o mais adequado para o cálculo de custos de acidentes nos países em desenvolvimento. O Método do Capital Humano avalia a vida do indivíduo de acordo com seus ganhos futuros, sendo aplicado para avaliar os efeitos de “doenças temporárias” na habilidade individual de se realizar um trabalho. O Método leva em consideração a perda equivalente à média de dias não-trabalhados. O estudo, portanto, argumenta que o declínio econômico na produção, devido a mortes ou incapacidades geradas pelos acidentes, traz expressivos prejuízos para a economia desses países.

Conforme Elvik (1999), para se garantir uma boa estimativa de custos, os valores usados não podem ser muito antigos, devendo englobar todos os tipos de acidentes, e devem

ser ajustados os dados que forem incompletos nas estatísticas oficiais. Os custos diretos (tratamentos médicos, reparação de veículos e custos administrativos) e indiretos (perdas de produção devido à morte prematura, ausência temporária ou permanente no trabalho) devem ser considerados, incluindo valores econômicos para a perda de qualidade de vida, ou seja todos os fatores que contribuem para criar condições favoráveis a plena satisfação das necessidades individuais e a manutenção do estilo de vida. Não existe consenso entre economistas em relação à estimativa do custo dos acidentes rodoviários, principalmente na questão do valor da perda de qualidade de vida. Frequentemente, são recomendados os valores propostos pela Comissão Européia, segundo a qual diversos países estimam que o custo da perda de qualidade de vida seja da ordem de 50% do total dos custos diretos e indiretos juntos.

2.5.4 Custos dos Acidentes nas Economias Nacionais

Em estudo desenvolvido por Elvik (1999), foi calculado o quanto representa o custo dos acidentes rodoviários na economia nacional de 12 países a partir de estimativas oficiais de custos obtidos na década de 90. Conforme apresentado na Tabela 11, os acidentes rodoviários custam, em média, 1,3% do total do produto nacional dos países pesquisados, excluindo os valores da perda da qualidade de vida. Quando a avaliação da perda da qualidade de vida é incluída, o custo dos acidentes viários representa aproximadamente 2,5% do total do produto nacional de um país. Nesse caso, os valores estimados variam de 0,5% a 5,7% do total do produto nacional.

A Tabela 11 mostra um estudo comparativo entre os custos dos acidentes rodoviários pelo percentual do Total do Produto Nacional para os 12 países. É possível identificar a diminuição dos custos dos acidentes quando não é incluída a perda da qualidade de vida na composição dos mesmos.

Tradicionalmente, sugere-se que os custos dos acidentes rodoviários em um país giram em torno de 1% do produto total nacional. Porém, o Banco Mundial, recentemente, introduziu a marca de 2% para esses índices (ELVIK,1999). Essa marca de 2% foi também verificada por Putigano et al (1999) em um estudo de caso italiano.

TABELA 11 - CUSTOS DOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS PELO % DO TOTAL DO PRODUTO NACIONAL EM DIFERENTES PAÍSES (EM MILHÕES DE DÓLARES)

País	Ano	Custo Total de Acidentes Rodov.		Total do Produto Nacional	Custos % do Total do Prod. Nac.	
		Perda de Qual. de Vida incluída	Perda de Qual. de Vida excluída		Perda de Qual. de Vida incluída	Perda de Qual. de Vida excluída
Bangladesh	1997	7495	5519	1616309	0,5	0,3
Dinamarca	1997	14145	11281	1080550	1,3	1,0
Finlândia	1990	9487	5417	501734	1,9	1,1
Alemanha	1994	43380	39150	3368689	1,3	1,2
Itália	1997	36968	32497	1143875	3,2	2,8
Coréia	1996	10986	7142	422540	2,6	1,7
Suécia	1993	12353	9527	614165	2,0	1,6
Nova Zelândia	1991	3691	764	83072	4,4	0,9
Noruega	1995	21540	10975	928700	2,3	1,2
Suíça	1995	44672	14519	1649900	2,7	0,9
Inglaterra	1990	11193	2726	550273	2,0	0,5
Estados Unidos	1988	334011	116597	5820336	5,7	2,0
Valor médio s/ ponderação					2,5	1,3
Valor médio ponderado					3,1	1,4

Fonte: Elvik, 1999

2.5.5 Custos de Acidentes no Brasil

Um dos estudos mais completos sobre custos de acidentes viários no Brasil foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA, 2003). A pesquisa sobre os Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Aglomerações Urbanas no Brasil foi realizada no período entre 2000 e 2002. Essa pesquisa teve como objetivo identificar e mensurar os custos dos acidentes de trânsito nas aglomerações urbanas brasileiras. Nela, o IPEA desenvolveu uma metodologia para a coleta de dados e quantificação dos custos dos acidentes, definindo parâmetros para esses custos.

Os dados para a pesquisa foram coletados pelo IPEA nas aglomerações urbanas de São Paulo, Belém, Recife e Porto Alegre. Para as demais aglomerações urbanas consideradas no estudo, em um total de 49, os custos foram estimados de acordo com a similaridade da região em relação àquelas aglomerações que efetivamente fizeram parte da etapa de coleta de dados. Os resultados da pesquisa indicaram que os acidentes de trânsito nas aglomerações urbanas brasileiras geraram custos da ordem de R\$ 3,6 bilhões, para as 49 aglomerações. Se for considerado o total da área urbana do país, esses custos chegam a R\$ 5,3 bilhões. Não foram

considerados nesse estudo os acidentes rodoviários, ainda que os mesmos sejam mais graves, porém em menor quantidade.

Na metodologia adotada pelo IPEA, a composição dos custos dos acidentes de trânsito segue a estrutura apresentada na Tabela 12.

TABELA 12 - CUSTOS ANUAIS DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO NAS AGLOMERAÇÕES URBANAS BRASILEIRAS, POR COMPONENTE DE CUSTO

<i>Componentes de custo</i>	<i>Custos</i>	
	R\$ mil (abril de 2003)	%
Perda de produção	1.537.300	42,8
Danos a veículos	1.035.046	28,8
Atendimento médico-hospitalar	476.020	13,3
Processos judiciais	131.083	3,7
Congestionamentos	113.062	3,1
Previdenciários	87.642	2,4
Resgate de vítimas	52.695	1,5
Reabilitação de vítimas	42.214	1,2
Remoção de veículos	32.586	0,9
Danos a mobiliário urbano	22.026	0,6
Outro meio de transporte	20.467	0,6
Danos à sinalização de trânsito	16.363	0,5
Atendimento policial	12.961	0,4
Agentes de trânsito	6.125	0,2
Danos à propriedade de terceiros	3.029	0,1
Impacto familiar	2.105	0,1
Total	3.590.723	100

Fonte: IPEA, 2003

Observa-se na Tabela 12 que os itens de perda de produção, custos médico-hospitalares e danos a veículos respondem por aproximadamente 85% do total dos custos. A perda de produção reflete o custo orçado ao afastamento das atividades produtivas, parcela importante em acidentes com vítimas.

Ainda de acordo com o estudo, os custos dos acidentes com vítimas representam 69% dos custos produzidos pelos acidentes, correspondendo a cerca de R\$ 2,5 bilhões, enquanto que acidentes sem vítimas responderam a 31% dos custos dos acidentes. Porém, a

percentagem de acidentes com vítimas corresponde a cerca de 14% de todos os acidentes ocorridos.

O estudo concluiu que o custo médio por acidente de trânsito é de R\$ 8.782,00, considerando-se todos os tipos de acidentes. Caso se considerem apenas os acidentes com vítimas, o valor médio de um acidente eleva-se para R\$ 35.136,00. Desagregando-se os custos por grau de severidade, obteve-se:

- a) custo médio de acidente sem vítimas: R\$ 3.262,00;
- b) custo médio de acidente com feridos: R\$ 17.460,00;
- c) custo médio de acidente com mortes: R\$ 144.143,00.

Esses valores resultam de um estudo abrangente, com dados atualizados que refletem bem a realidade brasileira. Embora esses custos tenham sido estimados para aglomerações urbanas brasileiras, acredita-se que sua utilização como um indicativo para os custos dos acidentes em rodovias rurais seja viável. Na realidade, a adoção dos valores propostos pelo IPEA pode ser vista como uma postura conservadora, uma vez que os custos de um acidente rodoviário tendem a ser maiores do que o custo de um acidente urbano, pois os acidentes rodoviários são, normalmente, mais graves.

2.6 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo, intitulado “Referencial Teórico”, foram abordados três aspectos relevantes ao trabalho. Primeiro, foi discutida a importância da segurança viária. Em seguida, realizou-se uma ampla revisão sobre Guias Sonoras, incluídos os custos de implantação do dispositivo. E, por fim, foram pesquisados os custos de acidentes rodoviários.

Na abordagem introdutória sobre segurança viária, observou-se que o componente humano é responsável, isoladamente, por 67% dos acidentes de trânsito. Entre os fatores que influenciam o componente humano, está a sonolência muitas vezes provocada pelo uso de bebidas alcoólicas, de drogas, pelo estresse, entre outros. A sonolência e/ou distração foi identificada como um importante fator contribuinte de acidentes do tipo saída de pista. Os dispositivos chamados Guias Sonoras mostram-se adequados na prevenção desse tipo de acidentes.

Guias Sonoras são ranhuras, padronizadas, construídas no pavimento que, por terem uma textura diferenciada do restante da rodovia, produzem ruído e vibração nos veículos quando estes passam sobre elas. As Guias Sonoras podem ser construídas sobre a pista (GSP), no acostamento (GSA) ou no eixo (GSE). Existem basicamente quatro métodos construtivos de Guias Sonoras. O mais utilizado é o método com Ranhuras Conformadas no Local, as quais são depressões executadas na superfície do pavimento. As Ranhuras Cilíndricas são construídas no revestimento asfáltico ainda quente, com forma arredondada ou em V; as Ranhuras Moldadas são similares às Cilíndricas, porém são construídas sobre o pavimento de concreto; o quarto método, com Ranhuras Salientes, pode ser executado com uma grande variedade de produtos, tais como tachões, calotas, tintas ou tiras, entre outros.

A experiência internacional no uso do dispositivo mostrou uma tendência muito forte de utilização das Guias Sonoras nos Estados Unidos, porém elas são também utilizadas em países como Espanha, Portugal, Canadá, Austrália, entre outros. Os estudos revisados apontaram um benefício/custo na razão de, pelo menos, 50:1. Foram apresentados estudos dos diversos departamentos de transporte norte-americanos; entre eles, estão: WSDOT, ODOT e UDOT.

A experiência nacional, apesar de ser ainda bastante limitada, mostrou que existem empresas com tecnologia e conhecimento suficientes para fornecer o serviço. Foram realizadas visitas a duas empresas capacitadas em aplicar e/ou executar Guias Sonoras. Uma é fabricante de um tipo de tinta para sinalização que forma saliência sobre o pavimento (Guias Sonoras com Ranhuras Salientes), chamada Megaline, e outra que executa o tipo de Guias Sonoras com Ranhuras Conformadas no Local sobre o pavimento asfáltico.

Buscaram-se no mercado custos de implantação de Guias Sonoras, a fim de ter subsídios para uma comparação entre custos do dispositivo e custos dos acidentes realizada no Estudo de Caso. Os custos apresentados foram subdivididos em custos nacionais, através de contato com empresas brasileiras, e em custos internacionais, através de pesquisa bibliográfica.

A revisão dos custos de acidentes foi subdividida em duas etapas. Em um primeiro momento, buscou-se a composição dos custos de acidentes, tanto diretos como indiretos. Posteriormente, foram analisados os custos por tipo de acidentes, sobre os quais foi concluído que os custos com acidentes por saída de pista são expressivos, quando comparados com os

demais. Foram apresentados, também, dados da representatividade dos custos dos acidentes rodoviários, em 12 países, em relação às suas economias. Por fim, foram revisados os custos de acidentes para o Brasil, através do estudo realizado pelo IPEA, em 2003.

3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso desenvolvido teve duas finalidades básicas: (a) verificar a existência de locais com características geométricas que resultam em uma maior propensão à ocorrência de acidentes do tipo saída de pista, principal tipo de acidente evitável pelo uso das Guias Sonoras, e (b) comparar os custos de implantação do dispositivo com os custos dos acidentes evitáveis pelas Guias Sonoras. A principal finalidade de identificação de um padrão geométrico com maior propensão à ocorrência de acidentes por saída de pista seria orientar a aplicação de Guias Sonoras em iniciativas pró-ativas de melhoria da segurança viária, uma vez que o dispositivo poderia ser indicado nos locais que, potencialmente, seriam mais beneficiados pela medida.

Para a realização do estudo de caso, escolheu-se um trecho de 38 quilômetros de extensão da rodovia RS/122, que liga Flores da Cunha a Antônio Prado. A fim de demonstrar que o investimento no dispositivo é viável, foram comparados os custos estimados para os acidentes e os custos de implantação de Guias Sonoras nesse trecho rodoviário. Para tal comparação, utilizou-se o número de acidentes com mortes, com feridos e sem vítimas ocorridos na rodovia.

Foram criados, ainda, cenários hipotéticos nos quais são comparados os custos de diferentes percentuais de acidentes realmente evitados sobre o total de acidentes potencialmente evitáveis com a instalação das Guias Sonoras. Essa análise teve por objetivo identificar quantos acidentes devem ser evitados para que o custo de implantação do dispositivo se iguale ao custo dos acidentes evitados.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

3.1.1 Escolha da Rodovia

Idealmente, a rodovia selecionada para o estudo de caso deveria dispor de dados atuais de acidentes ocorridos nos últimos anos e de levantamento planialtimétrico completo da rodovia. Por esses motivos, em um primeiro momento, foram procuradas duas concessionárias de rodovias atuantes no estado do Rio Grande do Sul. As duas concessionárias dispunham de dados organizados e atualizados sobre a ocorrência de acidentes. A partir da análise desses dados, foi feita a escolha da rodovia a ser estudada.

A primeira concessionária contatada foi a Concepa, responsável pela BR-290. Os dados fornecidos pela Concepa correspondem à Freeway, trecho da BR-290, com início na interseção de acesso à cidade de Porto Alegre até o fim do trecho pedagiado, em Osório. A segunda concessionária contatada foi a Univias. Essa Concessionária forneceu dados de acidentes de todas as rodovias sob sua responsabilidade, perfazendo quase 1.300 km de rodovias. São elas:

a) Pólo Metropolitano:

- BR-116: Guaíba – Camaquã;
- BR-290: Eldorado do Sul – Pantano Grande; Pantano Grande – Entr. BR-153;
- BR-290: Entr. BR-392 – São Gabriel;
- BR-153: Entr. BR-290 – Entr. BR-392;
- BR-153: Entr. BR-392 – Entr. BR-293;
- BR-392: Entr. BR-290 – Santana da Boa Vista;
- RS/030: Gravataí – Osório;
- RS/040: Viamão – Pinhal;
- RS/784: Entr. RS/040 – Cidreira;
- RS/474: Entr. BR-239 – Entr. RS/030;
- RS/471: Pantano Grande – Encruzilhada do Sul,

b) Pólo Caxias do Sul:

- BR-116: Caxias do Sul – Campestre da Serra;
- BR-116: Caxias do Sul – Nova Petrópolis;
- RS/122: Caxias do Sul – Antônio Prado;

- RS/122: Caxias do Sul – Nova Milano;
- RST/453: Caxias do Sul – Apanhador,

c) Pólo Lajeado:

- RS/130: Lajeado – Guaporé;
- RST/453: Estrela – Garibaldi;
- BR-386: Estrela – RST/287;
- BR-386: Lajeado – Arroio Tatim;
- RST/453: Lajeado – Venâncio Aires;
- RS/128: Entr. BR-386 – Entr. RST/453;
- VRS/130;
- VRS/129.

A rodovia a ser escolhida, entre todas apresentadas, deveria possuir algumas características básicas para viabilizar a análise a ser realizada no estudo de caso, tais como: ter pista simples; não ter tido alterações significativas em sua geometria nos últimos três anos; apresentar um número expressivo de acidentes; possuir dados de projeto e ter em sua geometria segmentos em curva, reta e interseções.

De acordo com as características impostas pelo estudo, poucas rodovias, dentre as apresentadas, preenchem todas as características básicas para viabilizar a análise. A Freeway foi descartada por ser de pista dupla, onde, normalmente, acidentes do tipo saída de pista são menos frequentes. Adicionalmente, sua geometria foi recentemente alterada com a implantação da terceira faixa, o que representa um fator importante na melhoria das condições de segurança, afetando a análise dos dados de acidentes. Entre as rodovias sob concessão da Univas, muitas são rodovias federais. Para as rodovias federais, a obtenção de dados de projeto se revelou em uma limitação para o estudo. Entre as rodovias estaduais, a rodovia que mais se adequou às exigências impostas no trabalho foi a Rodovia RS/122, trecho Caxias do Sul – Antônio Prado, subtrecho Flores da Cunha – Antônio Prado, conforme Mapa de Localização apresentado na Figura 25. Essa escolha foi efetuada com o auxílio da equipe de engenheiros da Univas.

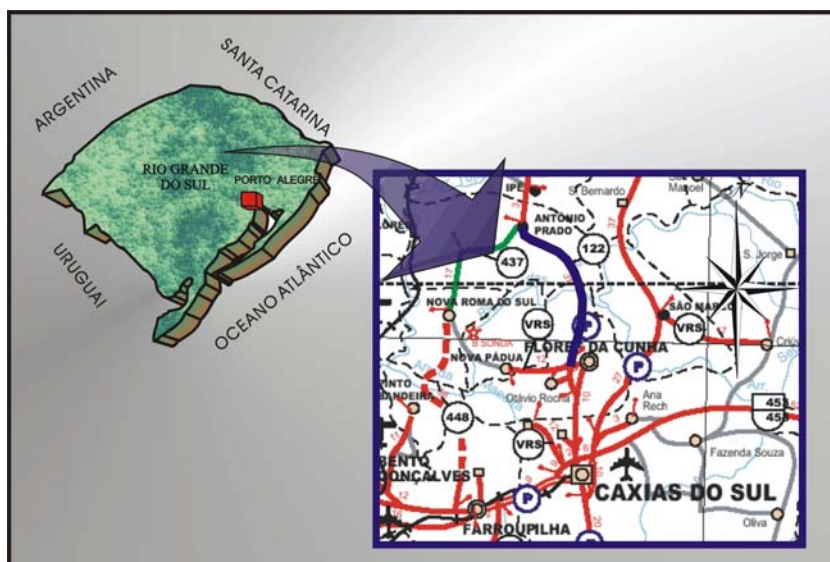


Figura 25 - Mapa de Localização

3.1.2 Descrição do Trecho Selecionado para o Estudo de Caso

O estudo de caso baseou-se em dados do projeto da rodovia, elaborados pela Equipe de Traçados do DAER em 1978; dados de acessos, interseções e acidentes fornecidos pela Concessionária Univias e dados de Projeto do Programa Estadual de Concessão Rodoviária, elaborado pela Empresa Incorp Consultoria e Assessoria Ltda (1997). Além disso, foi feita uma visita ao trecho para o reconhecimento *in loco* da mesma. Algumas divergências identificadas entre os dados dos projetos analisados, principalmente nas quilometragens dos acessos e pontos de passagem importantes, foram sanadas através da visita a campo.

Após a visita a campo e análise dos projetos fornecidos pelo DAER, pela UNIVIAS e pela Incorp, ficou determinado que o trecho do estudo iniciaria no km 90 e terminaria no km 127, no fim da concessão, junto ao acesso para o município de Ipê. O trecho selecionado possui um total de 38 km. Situa-se em região montanhosa e sua geometria é sinuosa, com curvas acentuadas e trechos curtos de reta.

O trecho em estudo apresenta pista simples, com extensões em reta (39%) e em curva (61%). As interseções e os acessos são bastante frequentes nos primeiros quilômetros do trecho. Ao longo do trecho, encontram-se uma praça de pedágio (km 101+000), uma ponte sobre o Rio das Antas (km 109+500) e um Belvedere (km 114+700). A velocidade permitida

é de 60 km/h, baixando para 40 km/h nas proximidades dos acessos e pontos obrigatórios de passagem.

Em visita ao trecho, observaram-se grandes extensões com 3ª faixa nos aclives onde as rampas possuem inclinações próximas a 7%. Estas faixas adicionais encontram-se, principalmente, nas proximidades do Rio das Antas. No km 105, a faixa em declive, oposta à 3ª faixa, possui dispositivos de segurança do tipo Guia Sonora de Pista, construídos com tachões (Guia Sonora com Ranhuras Salientes) dispostos em 6 fileiras, evidenciando uma preocupação da concessionária com a segurança do local.

O segmento de 12 quilômetros próximo ao Rio das Antas – dividido em 6 km antes e 6 km depois da ponte – é um local que oferece grande risco ao usuário. Esse segmento é uma zona de aclives e declives acentuados e está sujeito a longos períodos com neblina. No local, a concessionária colocou grandes placas indicativas de perigo de acidentes.

A rodovia RS/122 inicia em Novo Hamburgo e termina na BR-116, um pouco antes de Vacaria. Passa pelos municípios de Portão, São Sebastião do Caí, Feliz, Farroupilha, Caxias do Sul, Flores da Cunha e Antônio Prado, entre outros.

A seguir, é apresentado um conjunto de dados técnicos referentes à RS/122 (DAER, 1978):

a) RODOVIA: RS/122

- Trecho: Rincão do Cascalho – Antônio Prado – Entr. BR-116;
- Subtrecho: Flores da Cunha – Antônio Prado;
- Projeto: Projeto Geométrico elaborado pela Equipe de Traçados do DAER;
- Extensão: 33,340km;
- Situação do Projeto: km 0+000 ao km 33+340;
- Correlação com trecho concedido: km 0 = km 95,

b) ASPECTOS GERAIS

- Zona: Montanhosa;
- Plataforma de Aterro: 12,60m;
- Plataforma de Corte: 14,60m;
- Pista de Rolamento: 7m;
- Acostamento: 2m;
- Mínima Distância Dupla de Visibilidade: 138,56m;

- Mínima Distância de Visibilidade de Passagem: 277,12m,
- c) ASPECTOS PLANIMÉTRICOS
 - Extensão em Reta: 14.338,38m;
 - Extensão em Curva: 19.001,62m;
 - N° de Curvas: 83;
 - Raio Mínimo: 101,15,
- d) ASPECTOS ALTIMÉTRICOS
 - Rampa Máxima do Greide: 7%;
 - Extensão Máxima Contínua: 147m,
- e) COMPRIMENTO VIRTUAL
 - Sentido da Quilometragem: 59.494,50m;
 - Sentido Contrário: 61.638,85m;
 - Comprimento Virtual Médio: 60.566,68m,
- f) TORTUOSIDADE
 - Tortuosidade Total: 19,28757 °/m;
 - Tortuosidade por km: 0,57851 °/m.

3.1.3 Descrição dos Dados de Acidentes

Os dados de acidentes do trecho estudado foram fornecidos pelo Consórcio Univias. Os acidentes ocorridos em cada quilômetro da rodovia estão consolidados em períodos de um ano, perfazendo um total de 3 anos. Porém, no último ano, o agrupamento de dados refere-se a um período de 11 meses, devido à disponibilidade dos dados na data do contato efetuado com a Concessionária. Em suma, os dados apresentados dizem respeito a 35 meses (novembro de 2000 a setembro de 2003).

Os dados apresentados no Quadro 1 estão divididos em acidentes do tipo saída de pista (potencialmente evitáveis pelo uso de Guias Sonoras) e todos os outros tipos de acidentes ocorridos. Entre os outros tipos de acidentes considerados, estão: colisão, capotagem, tombamento, choque contra animais, atropelamento e outros, sendo importante indicar que esta divisão por tipo de acidentes é a mesma utilizada pela concessionária.

No final da tabela, foi feito um somatório do Total de Acidentes por Saída de Pista e do Total de Outros Tipos de Acidentes, para cada quilômetro do trecho em estudo. Também se fez o somatório total de todos os acidentes.

A tabela que consolida os dados de acidentes também contém uma síntese da planimetria e altimetria predominante em cada quilômetro do trecho estudado. Como o trecho é montanhoso e extremamente sinuoso, houve a necessidade de optar pela característica predominante ao longo de cada quilômetro percorrido. Para essa análise, foram utilizados o projeto existente, os dados fornecidos pela Univias e as visitas ao trecho.

A planimetria foi subdividida entre curvas acentuadas, curvas suaves e retas, para obter a predominância entre curvas suaves e curvas acentuadas em cada trecho, foi utilizado um critério subjetivo que considerou a predominância de curvas com raios que quando maiores que 150 m foram consideradas curvas suaves e quando menores que 150 m consideradas como curvas acentuadas. Foram apontados, também, as interseções e os acessos existentes ou outros pontos de passagem importantes. A altimetria, por sua vez, foi identificada segundo a predominância de aclives e declives e trechos no plano.

Dessa forma, cada segmento (quilômetro de rodovia) foi classificado em uma ou mais das seguintes categorias: Predominantemente reta; Predominantemente curva; Com ou sem interseção; Predominantemente aclive/declive; Predominantemente plano.

Os dados de acidentes e a síntese da geometria do local estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Dados de Acidentes e Características Geométricas na Rodovia RS/122

km	Planimetria				Altimetria		Nº de acidentes								
	predomina			outros	predomina		Nov/2000 - Out/2001		Nov/2001 - Out/2002		Nov/2002 - Set/2003		Total de outros acidentes	Total de acidentes por saída de pista	Total de acidentes
	curvas acentuadas	curvas suaves	retas		interseção/acesso	active/declive	plano	Outros tipos de acidentes	Acidentes por saída de pista	Outros tipos de acidentes	Acidentes por saída de pista	Outros tipos de acidentes			
90	x				x		09	04	08	03	09	03	26	10	36
91		x			x		10	08	07	04	05	04	22	16	38
92			x	x		x	15	07	13	04	14	08	42	19	61
93			x		1*	x	05	00	02	00	05	02	12	02	14
94	x				x		02	02	01	00	03	02	06	04	10
95			x	x	x		12	09	10	05	04	03	26	17	43
96			x	x	x		06	03	13	04	10	02	29	09	38
97			x			x	12	04	03	02	02	00	17	06	23
98			x		x		09	04	03	00	03	00	15	04	19
99	x			x		x	01	00	02	01	01	00	04	01	05
100			x		x		01	01	03	00	02	00	06	01	07
101			x		2*	x	03	03	02	00	07	01	12	04	16
102	x			x	x		08	07	01	06	04	06	13	19	32
103	x				x		08	08	10	04	08	07	26	19	45
104	x				x		14	04	06	04	09	03	29	11	40
105	x				x		08	08	09	02	06	04	23	14	37
106	x				x		11	01	03	02	08	00	22	03	25
107	x				x		04	07	03	00	02	00	09	07	16
108	x				x		10	03	01	05	03	02	14	10	24
109	x				3*	x	08	02	07	00	06	03	21	05	26
110			x		x		03	01	01	03	03	05	07	09	16
111	x				x		03	00	04	03	06	02	13	05	18
112	x				x		01	03	06	04	02	02	09	09	18
113	x				x		07	05	07	04	03	05	17	14	31
114	x				4*	x	08	04	06	03	08	07	22	14	36
115	x				x		08	04	08	03	09	00	25	07	32
116	x					x	06	07	05	10	02	13	13	30	43
117	x					x	14	00	16	01	19	01	49	02	51
118			x			x	01	02	01	01	01	01	03	04	07
119			x			x	03	01	02	00	01	00	06	01	07
120			x			x	02	00	01	01	00	00	03	01	04
121			x			x	00	00	01	00	01	02	02	02	04
122	x					x	00	06	01	02	03	00	04	08	12
123	x					x	07	00	03	01	00	00	10	01	11
124	x					x	00	02	01	01	01	00	02	03	05
125	x					x	02	00	05	00	02	01	09	01	10
126			x			x	01	03	00	02	01	03	02	08	10
127			x			x	05	00	06	00	04	00	15	00	15
Total Geral							227	123	181	85	177	92	585	300	885
1*: Perímetro urbano 2*: Praça de Pedágio 3*: Ponte sobre o Rio das Antas 4*: Belvedere															

Fonte: Adaptado do Banco de Dados do Consórcio Univias

Identificou-se que, nos 38 quilômetros da rodovia estudada, ocorreu um total de 885 acidentes, em três anos de monitoramento. Desse total, 300 tiveram como causa a saída de pista, representando 34% do total de acidentes. De acordo com a prática reportada internacionalmente, a média de acidentes por saída de pista nas rodovias resulta em torno dos 30%, evidenciando que a RS/122 está dentro da média.

3.2 ANÁLISE DOS DADOS DOS ACIDENTES X DADOS GEOMÉTRICOS

A partir dos dados consolidados no Quadro 1, buscou-se identificar padrões específicos de geometria nos quais os acidentes do tipo saída de pista fossem mais freqüentes. Com esse objetivo, foi realizado um comparativo entre as características geométricas da rodovia, quilômetro a quilômetro, e as quantidades de acidentes ocorridos, separados em acidentes por saída de pista e outros acidentes. Uma vez identificados os padrões, seria possível orientar os investimentos na instalação de Guias Sonoras nesses locais para atuar preventivamente no tratamento da melhoria de segurança viária. A Tabela 13 consolida os dados dessa análise.

Em um primeiro momento, os 38 quilômetros do trecho estudado foram agrupados segundo três critérios: planimetria (curva ou reta), altimetria (aclive/declive ou plano) e presença de interseções ou outros pontos notáveis (com ou sem interseção). Para cada um desses padrões geométricos, foi totalizado o número de acidentes por saída de pista e o número de outros acidentes.

Nessa primeira análise, o percentual de acidentes do tipo saída de pista em relação ao total de acidentes ocorridos se mostrou praticamente uniforme dentro dos padrões geométricos avaliados. Os percentuais de acidentes por saída de pista variaram de 29,92 a 35,50% sobre o total de acidentes (ver Tabela 13). Em um segundo momento, foi feita uma análise restrita aos 23 quilômetros em curva do trecho estudado. Esses 23 quilômetros em curva foram agrupados de acordo com três critérios: intensidade da curva (acentuada ou suave), altimetria da curva (aclive/declive ou plano) e presença de interseções ou pontos notáveis na curva (com ou sem interseções ou outros pontos notáveis). Também nessa análise, os percentuais entre acidentes por saída de pista e outros acidentes se mostraram uniformes, ficando em torno de 35%.

Por fim, realizou-se uma análise restrita aos 15 quilômetros de reta do trecho estudado. Esses 15 quilômetros em reta foram agrupados segundo dois critérios: altimetria da reta (aclive/declive ou plano) e presença de interseções ou pontos notáveis na reta (com ou sem interseções). Mais uma vez, a análise dos percentuais entre acidentes por saída de pista e outros acidentes se mostrou uniforme.

TABELA 13 – COMPARATIVO ENTRE GEOMETRIA E ACIDENTES

Critério	Geométrico	Nº de Amostras	Total de Outros Acidentes	Total de Acidentes por Saída de Pista (SP)	Total de Acidentes	% de SP em relação ao Total de Acidentes
Planimetria	Curva	23	388	213	601	35,44
	Reta	15	197	87	284	30,63
Presença de interseção	Com interseção ou outros	9	181	90	271	33,21
	Sem interseção ou outros	29	404	210	614	34,20
Altimetria	Aclive/declive	27	407	224	631	35,50
	Plano	11	178	76	254	29,92
Curvas						
Intensidade da curva	Curva acentuada	10	177	101	278	36,33
	Curva suave	13	211	112	323	34,67
Altimetria	Curva em aclive/declive	19	301	175	476	36,76
	Curva no plano	4	87	38	125	30,40
Presença de interseção	Curva com interseção ou outros	4	60	39	99	39,39
	Curva sem interseção ou outros	19	328	174	502	34,66
Retas						
Altimetria	Reta em aclive/declive	8	106	49	155	31,61
	Reta no plano	7	91	38	129	29,45
Presença de interseção	Reta com interseção ou outros	5	121	51	172	29,65
	Reta sem interseção ou outros	10	76	36	112	32,14

A partir dos agrupamentos realizados na Tabela 13, observou-se que 61% dos 38 quilômetros estão em trechos curvos e 39%, em reta. Os 61% de quilômetros em curva subdividem-se em 57% de curvas suaves e 43% de curvas acentuadas. Quanto à altimetria, a predominância de segmentos em aclives e declives é de 71% de todo o trecho estudado. Os demais 29% dos quilômetros ocorrem em local plano.

O gráfico apresentado na Figura 26, retrata as comparações apresentadas na Tabela 13. Para cada par comparado, são mostrados o total de acidentes ocorridos e o total de acidentes

por saída de pista, conforme os dados apresentados na tabela anterior. O gráfico apresenta também o valor percentual dos acidentes por Saída de Pista em relação ao total de acidentes.

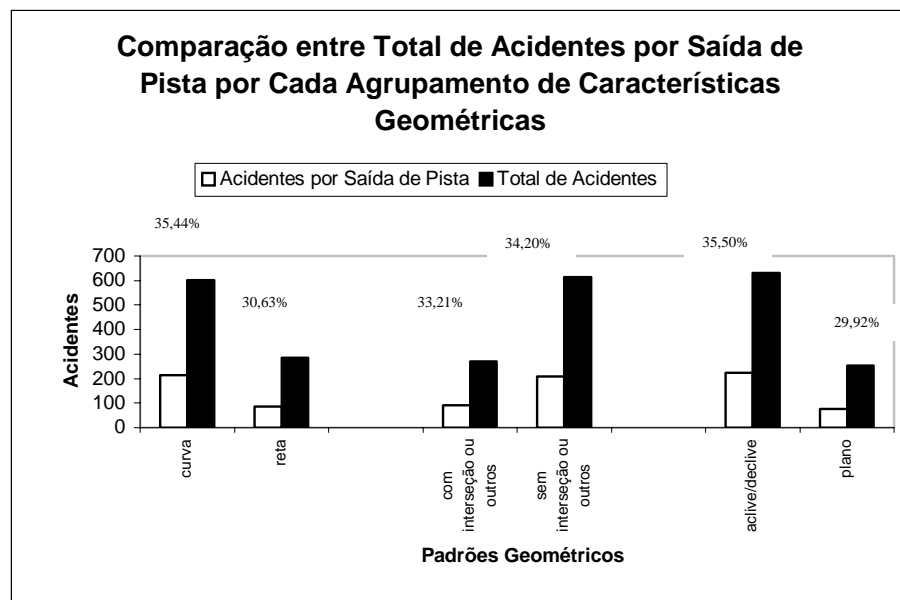


Figura 26 - Total de Acidentes e Acidentes por Saída de Pista nos Padrões Geométricos Avaliados

Nas Figuras 27 e 28, são apresentadas as comparações entre o total de acidentes e os acidentes por saída de pista para os subagrupamentos realizados.

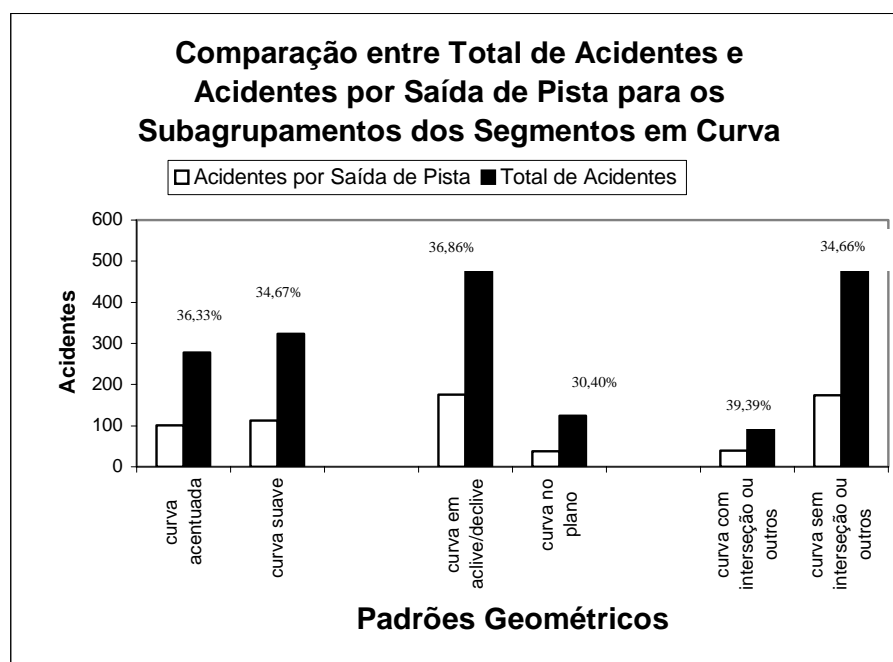


Figura 27 - Total de Acidentes e Acidentes por Saída de Pista nos Subagrupamentos dos Segmentos em Curva

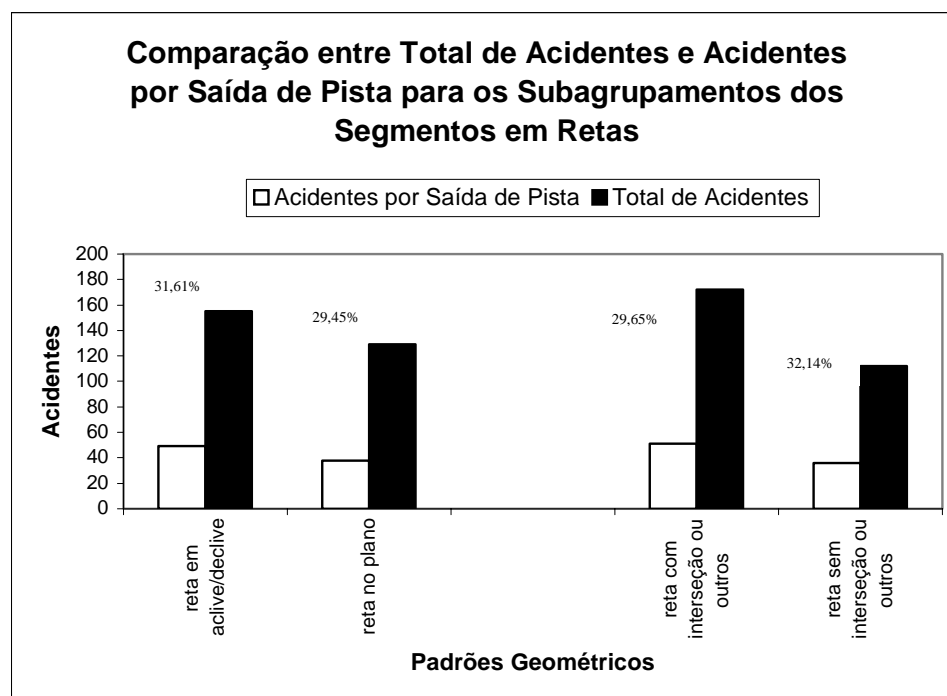


Figura 28 - Total de Acidentes e Acidentes por Saída de Pista nos Subagrupamentos dos Segmentos em Reta

Embora os segmentos em curva sejam 61% do total de quilômetros estudados, e o total de acidentes nesses segmentos seja maior do que os segmentos em retas, a proporção entre o total de acidentes e o total de acidentes por saída de pista revelou-se homogênea. Esse resultado se repete em todas as comparações efetuadas. Verificou-se uma discreta tendência a ocorrerem mais acidentes por SP nos aclives e declives do que nos segmentos planos. Nesse agrupamento, foram identificados 35% de acidentes do tipo saída de pista nos trechos em aclives/declives contra 29% nos trechos em plano.

De modo geral, conforme os resultados apresentados na Tabela 13, observa-se que, para todos os padrões geométricos analisados, o percentual de acidentes por saída de pista sobre o total de acidentes se mantém praticamente constante. Dessa forma, não foi possível, através dessa análise, identificar um padrão geométrico em que os acidentes por saída de pista sejam mais prováveis de ocorrer. Sendo assim, não foi evidenciada a existência de locais com características geométricas específicas, nos quais a aplicação de Guias Sonoras seja mais indicada. Com base nos mesmos dados, partiu-se para uma análise distinta restrita aos pontos de maior ocorrência de acidentes do tipo saída de pista. Assim, verificou-se que existem segmentos não-contínuos de um quilômetro cada, nos quais a ocorrência de acidentes por SP é superior a 75% do total de outros acidentes (conforme destacado, na Figura 29). Nesses

locais, o uso do dispositivo é indicado. Em uma análise detalhada dos dados de acidentes ocorridos ao longo do trecho, é possível identificar que, dos 38 quilômetros estudados, 10 apresentam um número expressivo de acidentes por saída de pista. A Figura 29 mostra a comparação quilômetro a quilômetro do número de acidentes por saída de pista e o número de acidentes de outros tipos. Os quilômetros 102, 110, 116, 118, 122, 124 e 126 indicam os locais onde a ocorrência de SP foi maior do que a de outros tipos de acidentes. Nos quilômetros 107, 112 e 113, a incidência de acidentes por SP foi igual ou maior que 75% dos acidentes de outros tipos.

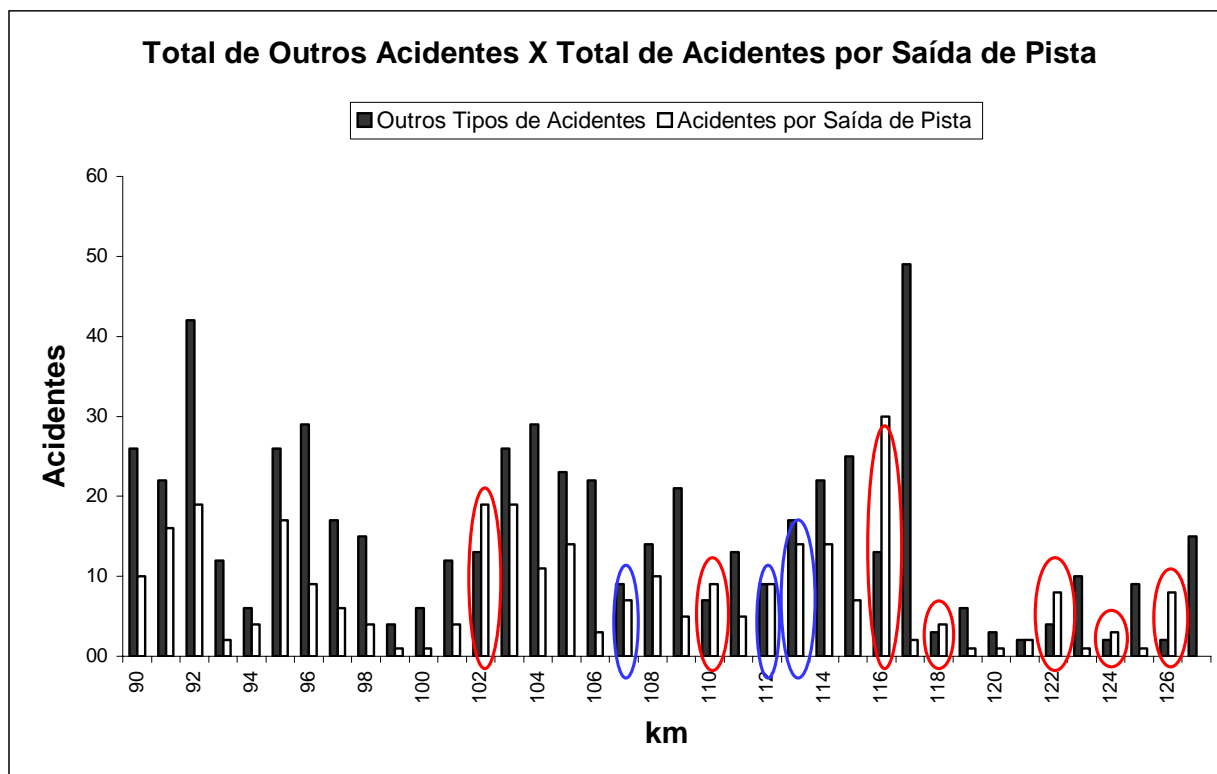


Figura 29 - Comparativo Entre N° Total de Outros Acidentes x N° Total de Acidentes por Saída de Pista

Em uma análise restrita a esses locais onde a quantidade de acidentes por saída de pista é próxima ou superior à ocorrência de outros tipos de acidentes, verificou-se que oito deles estão em aclive/declive e sete estão em curva. Esses números revelam uma tendência à ocorrência de acidentes por saída de pista em trechos localizados em aclives/declives e/ou em curvas, essa tendência pode ser explicada, também, pela ação da força centrífuga que no momento da curva precisa ser compensada pela força vinda do atrito dos pneus com a pista para que o veículo consiga fazer a curva. Pelo tamanho da amostra pesquisada, não é possível realizar testes estatísticos que comprovem a tendência observada. Porém, esses valores podem

ser vistos como uma orientação para a utilização de Guias Sonoras em segmentos rodoviários que se enquadrem nesses padrões geométricos (aclives/declives e/ou curvas).

3.3 COMPARATIVO ENTRE CUSTOS DOS ACIDENTES E DAS GUIAS SONORAS

Esta seção consiste na comparação entre custos de acidentes e de implantação das Guias Sonoras. Com essa finalidade, foram utilizados dados obtidos através da pesquisa bibliográfica e de contato direto com fornecedores. Adicionalmente, foi realizada uma análise específica para o trecho avaliado no estudo de caso, no qual são comparados os custos estimados para os acidentes ocorridos no trecho e os custos de implantação de Guias Sonoras nesse trecho.

Os custos de acidentes considerados nesse estudo são os propostos pelo IPEA no estudo desenvolvido sobre os impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas aglomerações urbanas (IPEA, 2003). Os valores propostos pelo IPEA foram adotados neste trabalho por resultarem de um estudo de caso brasileiro bastante abrangente e atual. Sabe-se que os acidentes ocorridos em rodovias tendem a ter uma gravidade ainda maior, o que resultaria em custos econômicos e sociais mais elevados. Ainda, verifica-se que o custo dos acidentes do IPEA não considera, na sua composição, o componente “disponibilidade a pagar” para a redução dos riscos de mortes em acidentes, muito empregado para avaliar relações do tipo benefício/custo em investimentos rodoviários. Portanto, adotando o custo do acidente proposto pelo IPEA, está-se assumindo uma postura conservadora, uma vez que o custo real do acidente rodoviário seja, provavelmente, maior do que o aqui adotado.

Sendo assim, os valores dos custos de acidentes usados nesta análise são:

- a) Custo médio de um acidente: R\$ 8.782,00;
- b) Custo médio de acidente sem feridos: R\$ 3.262,00;
- c) Custo médio de acidente com feridos: R\$ 17.460,00;
- d) Custo médio de acidente com mortes: R\$ 144.143,00.

Para os custos de implantação do dispositivo de Guias Sonoras, foi adotado o valor praticado pela Hot Line, uma empresa brasileira que executa Guias Sonoras com Ranhuras Salientes. De acordo com a empresa, o custo de execução das Guias Sonoras é de R\$ 4.599,00/km.

Em uma análise teórica expedita, observa-se que, se a instalação de Guias Sonoras em 1 quilômetro de rodovia evitasse 1 acidente rodoviário, já se teria o retorno do capital investido (ver Tabela 14).

TABELA 14 – COMPARATIVO ENTRE O CUSTO DE 1 QUILOMETRO DE GUIAS SONORAS E 1 ACIDENTE RODOVIÁRIO

Custo de Aplicação de Guias Sonoras em 1 km de Rodovia (Fonte: Empresa Hot Line, 2003)	Custo Médio de 1 Acidente de Trânsito (Fonte: IPEA, 2003)
R\$ 9.198,00 (acostamento lados direito e esquerdo)	R\$ 8.782,00

De acordo com a revisão bibliográfica, o custo de um acidente apenas com feridos equivale à execução de 3,8 quilômetros de Guias Sonoras. Já o custo de um acidente com vítimas fatais equivale à implantação de 31 quilômetros de Guias Sonoras. Com base nos valores adotados nesse trabalho, para cada 94 quilômetros de rodovia bastaria que fossem evitados seis acidentes com vítimas fatais para que os custos de implantação de Guias Sonoras, ao longo de todo trecho, fossem igualados ao custo dos acidentes evitados.

3.3.1 Dados sobre a Severidade dos Acidentes na Rodovia RS/122

Os dados referentes à severidade dos acidentes ocorridos na RS/122 estão, também, consolidados em períodos de um ano, sendo que o último grupo de dados refere-se a um período de 10 meses, similarmente aos quantitativos de acidentes analisados anteriormente. Os dados dos acidentes estão agrupados em:

- a) Acidentes só com Danos Materiais (DM);
- b) Acidentes Com Feridos (CF);
- c) Acidentes Com Óbitos (OB).

O Quadro 2 apresenta o número de acidentes por saída de pista sem feridos, com feridos e com óbitos ocorridos na RS/122, entre os quilômetros 90 e 127, nos anos alvo do estudo de caso.

Quadro 2 – Severidade dos Acidentes Ocorridos na RS/122 por Saída de Pista

km	Severidade	nov/00 - out/01	nov/01 - out/02	nov/02 - set/03	Total Global
90	DM	3	3	2	8
	CF	1	0	1	2
	OB	0	0	0	0
91	DM	5	3	4	12
	CF	3	1	0	4
	OB	0	0	0	0
92	DM	7	3	7	17
	CF	0	1	1	2
	OB	0	0	0	0
93	DM	0	0	2	2
	CF	0	0	0	0
	OB	0	0	0	0
94	DM	2	0	1	3
	CF	0	0	1	1
	OB	0	0	0	0
95	DM	8	3	2	13
	CF	1	2	1	4
	OB	0	0	0	0
96	DM	2	3	1	6
	CF	1	1	1	3
	OB	0	0	0	0
97	DM	3	2	0	5
	CF	1	0	0	1
	OB	0	0	0	0
98	DM	2	0	0	2
	CF	2	0	0	2
	OB	0	0	0	0
99	DM	0	0	0	0
	CF	0	1	0	1
	OB	0	0	0	0
100	DM	1	0	0	1
	CF	0	0	0	0
	OB	0	0	0	0
101	DM	3	0	1	4
	CF	0	0	0	0
	OB	0	0	0	0
102	DM	5	6	6	17
	CF	2	0	0	2
	OB	0	0	0	0
103	DM	4	2	6	12
	CF	4	2	1	7
	OB	0	0	0	0
104	DM	1	4	1	6
	CF	3	0	2	5
	OB	0	0	0	0
105	DM	6	2	4	12
	CF	2	0	0	2
	OB	0	0	0	0
106	DM	1	1	0	2
	CF	0	1	0	1
	OB	0	0	0	0
107	DM	6	0	0	6
	CF	1	0	0	1
	OB	0	0	0	0

Continuação Quadro 2

km	Severidade	nov/00 - out/01	nov/01 - out/02	nov/02 - set/03	Total Global
108	DM	3	5	2	10
	CF	0	0	0	0
	OB	0	0	0	0
109	DM	2	0	2	4
	CF	0	0	1	1
	OB	0	0	0	0
110	DM	1	3	5	9
	CF	0	0	0	0
	OB	0	0	0	0
111	DM	0	3	1	4
	CF	0	0	1	1
	OB	0	0	0	0
112	DM	3	2	2	7
	CF	0	2	0	2
	OB	0	0	0	0
113	DM	5	4	5	14
	CF	0	0	0	0
	OB	0	0	0	0
114	DM	4	3	6	13
	CF	0	0	1	1
	OB	0	0	0	0
115	DM	2	2	0	4
	CF	2	1	0	3
	OB	0	0	0	0
116	DM	6	9	12	27
	CF	1	1	1	3
	OB	0	0	0	0
117	DM	0	1	1	2
	CF	0	0	0	0
	OB	0	0	0	0
118	DM	1	0	1	2
	CF	1	1	0	2
	OB	0	0	0	0
119	DM	1	0	0	1
	CF	0	0	0	0
	OB	0	0	0	0
120	DM	0	1	0	1
	CF	0	0	0	0
	OB	0	0	0	0
121	DM	0	0	1	1
	CF	0	0	1	1
	OB	0	0	0	0
122	DM	5	2	0	7
	CF	0	0	0	0
	OB	1	0	0	1
123	DM	0	1	0	1
	CF	0	0	0	0
	OB	0	0	0	0
124	DM	1	0	0	1
	CF	1	1	0	2
	OB	0	0	0	0
125	DM	0	0	1	1
	CF	0	0	0	0
	OB	0	0	0	0

km	Severidade	nov/00 - out/01	nov/01 - out/02	nov/02 - set/03	Total Global
126	DM	1	2	2	5
	CF	2	0	1	3
	OB	0	0	0	0
127	DM	0	0	0	0
	CF	0	0	0	0
	OB	0	0	0	0
TOTAL		123	85	92	300

Fonte: Adaptado Univas, 2003

3.3.2 Custos dos Acidentes x Custos de Guias Sonoras no Trecho Estudado

Para o trecho rodoviário analisado no estudo de caso, o custo total de aplicação de Guias Sonoras com Ranhuras Salientes nos acostamentos seria de R\$ 349.524,00, considerando-se a colocação do dispositivo em ambos os lados da rodovia nos 38 quilômetros estudados. Já os custos resultantes dos acidentes do tipo saída de pista ocorridos no trecho, ao longo dos 35 meses estudados, são da ordem de R\$ 1.928.767,00, conforme detalhado na Tabela 15.

TABELA 15 – CUSTO DOS ACIDENTES OCORRIDOS NA RS/122 POR SAÍDA DE PISTA NO PERÍODO DE 35 MESES

km	Custo dos Acidentes (R\$)
90	61.016,00
91	108.984,00
92	90.374,00
93	6.524,00
94	27.246,00
95	112.246,00
96	71.952,00
97	33.770,00
98	41.444,00
99	17.460,00
100	3.262,00
101	13.048,00
102	90.374,00
103	161.364,00
104	106.872,00
105	74.064,00
106	23.984,00
107	37.032,00
108	32.620,00
109	30.508,00

km	Custo dos Acidentes (R\$)
110	29.358,00
Continuação Tabela 15	0.508,00
112	57.754,00
113	45.668,00
114	59.866,00
115	65.428,00
116	140.454,00
117	6.524,00
118	41.444,00
119	3.262,00
120	3.262,00
121	20.722,00
122	166.977,00
123	3.262,00
124	38.182,00
125	3.262,00
126	68.690,00
127	0,00
Total	1.928.767,00

Porém, não se espera que a implementação das Guias Sonoras no trecho avaliado seja capaz de evitar a totalidade dos acidentes do tipo saída de pista. Sendo assim, foram criados cenários hipotéticos para os quais foram calculados os custos de diferentes quantidades de acidentes realmente evitadas pelo uso das Guias Sonoras, conforme apresentado na Tabela 16.

Nesses cenários hipotéticos, os percentuais de acidentes por saída de pista realmente evitados pela adoção de Guias Sonoras foram considerados como sendo de 25, 50, 75 e 100% dos acidentes ocorridos no trecho.

TABELA 16 – CENÁRIOS DO CUSTO MÉDIO DOS ACIDENTES NA RS/122

Cenário	% do Número de Envolvidos nos Acidentes por SP realmente evitados	Nº de Acidentes com Danos Materiais (Total = 242)	Nº de Acidentes Com Feridos (Total = 57)	Nº de Acidentes com Óbitos (Total = 01)	Custo Médio dos Acidentes de acordo com o nº e Tipo de Envolvidos (R\$)
1	25%	61	15	0,25	496.917,75
2	50%	121	29	0,50	973.113,50
3	75%	182	43	0,75	1.452.571,25
4	100%	242	57	01	1.928.767,00

Com base nessa análise, mesmo que apenas 25% dos acidentes evitáveis realmente sejam evitados, o investimento no dispositivo mostra-se recuperável em menos de 3 anos. No entanto, é importante ressaltar que, enquanto o custo de implementação do dispositivo recai inteiramente sobre o responsável pela rodovia, os custos dos acidentes são distribuídos por diferentes agentes.

De fato, os custos de um acidente rodoviário são divididos entre o acidentado (e seus familiares), o Estado e o operador da rodovia. É o Estado que arca com os custos dos processos judiciais, da previdência social, do resgate das vítimas, do atendimento policial e, no caso de vias não-concessionadas, com os custos de reposição/recuperação da rodovia e sinalização. Para o acidentado, recaem os custos de perdas produtivas, recuperação do veículo, custos médicos e hospitalares (apesar de esse, ser dividido com o Estado), além do impacto familiar e social por ele sofrido. Para o caso de vias concedidas, as concessionárias arcam com os custos de reparo na rodovia e atendimento dos acidentados. Já os custos de implantação do dispositivo do tipo Guias Sonoras recaem diretamente sobre o operador, seja ele o Estado ou as concessionárias, quando ocorrer em rodovias concedidas.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

4.1 CONCLUSÕES

4.1.1 Conclusões Teóricas

Este trabalho teve por objetivo avaliar o uso de Guias Sonoras como medida de redução de acidentes, através da sistematização das experiências existentes sobre o uso de Guias Sonoras no país e no mundo. Para atingir esse objetivo, foram realizadas uma pesquisa bibliográfica e um estudo de caso. No estudo de caso, buscou-se: (a) verificar a existência de locais com características geométricas que resultam em uma maior propensão à ocorrência de acidentes do tipo saída de pista, principal tipo de acidente evitável pelo uso das Guias Sonoras, e (b) comparar os custos de implantação do dispositivo com os custos dos acidentes evitáveis pelas Guias Sonoras.

A revisão da literatura indicou que as Guias Sonoras são recomendadas principalmente ao longo do acostamento de rodovias, podendo ser usadas também nas linhas de eixo e transversalmente sobre a pista. O dispositivo é especialmente indicado na prevenção de acidentes do tipo saída de pista. Portanto, segmentos com altas taxas de acidentes desse tipo devem ter prioridade na adoção das Guias Sonoras.

Verificou-se, ao longo do trabalho, que os acidentes do tipo saída de pista tendem a ter custos bastante elevados quando comparados aos demais tipos de acidentes. Tanto a saída de pista em tangente como a saída de pista em curva causam danos consideráveis aos veículos e às pessoas envolvidas.

A literatura também indica que as Guias Sonoras aplicadas em pavimentos com revestimento asfáltico reduzem mais acidentes do que Guias Sonoras em pavimentos de concreto. Entre os métodos construtivos existentes, encontram-se as Ranhuras Conformadas

no Local, as Ranhuras Cilíndricas, as Ranhuras Moldadas e as Ranhuras Salientes. A Guia Sonora com Ranhura Conformada no Local é a mais adotada por ser de fácil implantação.

A revisão da literatura revelou ainda que a implantação de Guias Sonoras pode induzir o aumento da demanda na rodovia. Em um estudo revisado, verificou-se um aumento no tráfego de veículos após a implantação das Guias Sonoras. Acredita-se que o ganho de segurança decorrente da adoção do dispositivo tenha influenciado no maior uso da rodovia.

Nas travessias urbanas de municípios do interior, onde existe um fluxo bastante grande de ciclistas, deve-se ter um cuidado especial ao projetar a implantação do dispositivo. As Guias Sonoras podem representar um risco adicional ao tráfego de ciclistas e, portanto, deve-se prever espaço específico para a circulação desses usuários.

4.1.2 Conclusões do Estudo de Caso

No estudo de caso realizado, esperava-se identificar segmentos com características geométricas específicas, como, por exemplo, a presença de curvas, de aclives ou declives ou de interseções onde existisse uma maior tendência à ocorrência de acidentes do tipo saída de pista. Uma vez identificada a existência de padrões de geometria com maior tendência à ocorrência desse tipo de acidentes, esses padrões serviriam de critério para priorização do uso das Guias Sonoras em iniciativas pró-ativas para a melhoria da segurança viária. Dessa forma, a instalação das Guias Sonoras poderia ser priorizada mesmo sem a existência de dados sobre a ocorrência de acidentes, ou mesmo antes que os acidentes viessem a ocorrer.

A pesquisa mostrou a existência de uma distribuição praticamente homogênea da ocorrência de acidentes do tipo saída de pista ao longo do trecho estudado. Os acidentes desse tipo representam aproximadamente 30% do total de acidentes ocorridos. Esse percentual é compatível com o verificado na revisão bibliográfica. De acordo com a revisão, nos EUA, anualmente, cerca de 1/3 de todos os acidentes fatais e com danos graves é causado por acidentes do tipo saída de pista.

A análise realizada nos 38 quilômetros do trecho do estudo de caso não se evidenciou a existência de características geométricas específicas nas quais os acidentes por saída de pista sejam mais frequentes e, portanto, a aplicação de Guias Sonoras seja mais indicada. Entretanto, na análise dos 10 segmentos de um quilômetro onde os acidentes por saída de

pista foram mais freqüentes, observou-se uma maior tendência à ocorrência desse tipo de acidente em aclives/declives e/ou curvas. Desses segmentos, oito situavam-se em aclive/declive e sete em curvas. Esses números revelam uma tendência à ocorrência de acidentes por saída de pista em trechos localizados em aclives/declives e/ou em curvas, porém, pelo tamanho da amostra pesquisada, não foi possível realizar testes estatísticos que comprovem a tendência observada.

O Projeto elaborado pela Equipe de traçados do DAER prevê a existência de acostamentos de 2 m de largura em ambos os lados no trecho estudado da rodovia. No entanto com as inúmeras modificações da geometria da via ao longo de 25 anos, o acostamento existente varia de 1,30 m a 3,50 m. Em determinados locais, o acostamento ocorre em apenas um dos lados da rodovia, e, em outros segmentos, inexistem acostamentos. Portanto, para a execução de Guias Sonoras, nesta rodovia, não são indicadas Guias Sonoras com Ranhuras Conformadas no Local por não haver, em muitos segmentos, largura de acostamento suficiente para a execução de tal tipo de dispositivo. Nesses locais, é indicado o dispositivo do tipo Ranhuras Salientes, pois esse pode ser aplicado diretamente sobre a linha de bordo.

Normalmente, a seleção dos segmentos para a implantação de melhorias nas condições de segurança viária é feita a partir de dados de acidentes ocorridos na rodovia, o que se caracteriza como uma iniciativa reativa ao problema de falta de segurança. No estudo de caso apresentado, é recomendada a instalação de Guias Sonoras como medida de redução de acidentes nestes 10 quilômetros apontados pela grande incidência de acidentes por saída de pista (km 102, 107, 110, 112, 113, 116, 118, 122, 124 e 126).

Uma das maiores críticas às iniciativas reativas está no fato de que é necessário esperar que um número expressivo de acidentes ocorra para que alguma medida seja adotada. Dessa forma, a identificação de aclives/declives e/ou curvas como características geométricas que propiciam a ocorrência de acidentes evitáveis pelo uso de Guias Sonoras pode servir de orientação para a seleção pró-ativa de locais para adoção dessa medida de redução de acidentes.

De acordo com o comparativo feito entre custos dos acidentes e custos de implantação de Guias Sonoras, o custo de um acidente apenas com feridos equivale à execução de 3,8 quilômetros de Guias Sonoras. Já o custo de um acidente com vítimas fatais equivale à implantação de 31 quilômetros de Guias Sonoras. Para cada 94 quilômetros de rodovia,

bastaria que fossem evitados 6 acidentes com mortes para que os custos de implantação de Guias Sonoras ao longo de todo trecho, nos dois lados do acostamento, fossem igualados ao custo dos acidentes evitados.

Para o trecho rodoviário analisado no estudo de caso, o custo total de aplicação de Guias Sonoras com Ranhuras Salientes nos acostamentos seria de R\$ 349.524,00, considerando-se a colocação do dispositivo em ambos os lados da rodovia nos 38 quilômetros estudados. Já os custos resultantes dos acidentes do tipo saída de pista, ocorridos no trecho ao longo dos três anos estudados, são da ordem de R\$ 1.928.767,00. O estudo de caso ainda indicou que o investimento necessário para a implantação do dispositivo nos acostamentos do trecho pesquisado é menor do que os custos estimados decorrentes de 25% dos acidentes do tipo saída de pista ocorridos no trecho no período de três anos. Uma vez que, de acordo com a revisão realizada, o uso do dispositivo de segurança do tipo Guias Sonoras é capaz de evitar de 18 a 70% dos acidentes que têm como causa a saída de pista, entende-se que o uso dessas guias tem condições de ser amplamente difundido, não apenas no Rio Grande do Sul como em todo o Brasil, como um dispositivo de redução de acidentes do tipo saída de pista, tendo um bom potencial de retorno do investimento.

4.2 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Para estudos futuros, sugere-se uma aplicação-piloto das Guias Sonoras nas rodovias sob responsabilidade das concessionárias rodoviárias existentes no país, uma vez que tais rodovias encontram-se em boas condições de uso, o que é importante para alcançar o desempenho desejado do dispositivo. Além disso, essas rodovias dispõem de dados atualizados sobre os acidentes, permitindo a identificação dos locais para a instalação das Guias Sonoras e permitindo, também, a condução de estudos do tipo antes/depois para a verificação do desempenho do dispositivo. O teste-piloto do dispositivo, através de um estudo aplicado, irá propiciar a verificação da eficiência das Guias Sonoras para a realidade brasileira.

É importante destacar que se fazem necessários o aprimoramento da coleta e o armazenamento de dados de acidentes, a fim de disponibilizar dados mais confiáveis e detalhados. Dessa forma, será possível que os órgãos gestores, as concessionárias de rodovia

ou os projetistas tenham condições suficientes para tomar decisões melhor embasadas em relação à segurança viária.

REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS – AASHTO. **Highway safety design and operations guide**. Washington, D.C., 1997.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS – AASHTO. **A police on geometric design of highways and streets**. Washington, D.C., 4th edition, 2001.

ANDREASSEN, D. Persons, vehicles and accident types: some considerations for accident costing and countermeasures. In: **Conference,12.**, 1984., Tasmania.. **Anais...** Tasmania: ARRB, 1984, p 40-46, v. 12, Part 7.

ANDREASSEN, D. **Preliminary costs for accident-types**. Vitória, Austrália: Australian Road Research Board Ltd. 42p, 1992. (Research Report ARR 217).

AUSTROADS. **Road safety audit**. Austrália. Austroads National Office, 1994.

AUTOBAN. Disponível em: <http://www.autoban.com.br/sitenovo/scripts/acidentes.asp>. Acesso em: 10.10.2003.

BRAGA, A. M.; REGAZZI R. D. **Normas e Técnicas de Vibração no Corpo Humano**. Disponível em: http://www.isegnet.com.br/colunistas/coluna_arthur.htm. Acesso em: 10.10.2003.

BUNZL EXTRUSION. **Safety Evaluation of Continuous Shoulder Rumble Strips Installed on Freeways**. Raised Rumble Strips Model 3708. Disponível em: http://www.davidsonplastics.net/whatsnew_arch2.htm. Acesso em: 23/09/2003.

BURKE, D.; McFARLAND, F. Accident costs: some estimates for use in engineering-economy studies. **Highway Research Record**. Texas: Committee on Application of Economic Analysis to Transportation Problems. n. 467, p. 66-74, [199_?].

CENTERLINE RUMBLE STRIPS TO BE INSTALLED IN REGION MONTOURSVILLE. **News Release Penndot**. Disponível em: <http://www.dot.state.pa.us/penndot>. Acesso em: 21.07.2003.

CHENG; E. Y.; GONZALEZ, E.; CHRISTENSEN, M. O. **Application and Evaluation of Rumble Strips on Highways**. Utah: Utah Department of Transportation – UDOT. [199_?].

DAVIS, D. Small investment, dramatic dividends – saving lives in “blood Alley”. Turner – Fairbank Highway Research Center – TFHRC. **Public Roads**. Disponível em: <http://www.tfhrc.gov/pubrds/02mar/03.htm>. Acesso em: 20/05/2003.

DEGUSSA. **Referência de Norma Técnica de Aplicação de metil-metacrilato**. Washington: Standard Specifications, p. 9-195, 2002.

DELDOT. **Delaware’s Centerline Rumble Strips**. Roadway Safety Foundation. Disponível em: <http://www.roadwaysafety.org>. Acesso em: 21/07/2003.

DEPARTMENT FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT - DFID. Case Studies to Assess Methodology for Accident Costing. **DFID**. Issue 13, p. 4. nov.2001. (Projects Reference: R7780).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO – DENATRAN. **Anuário Estatístico de Acidentes de Trânsito – 2002**. Brasília: Sistema Nacional de Trânsito.2004

DUBLIN. **Dublin's Neighborhood Traffic-Calming Program**. Disponível em: <http://www.dublin.oh.us/city/deptdev/engineer/rumblestrips.html>. Acesso em: 23/09/2003.

ELVIK, R. **How Much do Road Accidents Cost to the National Economy?**. [S.l.]: Institute of Transport Economics, 1999.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHWA. **Technical Advisory of Roadway Shoulder Rumble Strips**. Disponível em: <http://www.fhwa.dot.gov/legsregs/directives/techadv/t504035.htm>, 2001. Acesso em: 02.04.2003.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHWA. **Safety FHWA**. Disponível em: <http://www.safety.fhwa.dot.gov>. Acesso em: 05.07.2002.

FULLER, R. Human Factors and Driving. In: **Human Factors for Highway Engineers**. Republic of Ireland: Triity College. 2002. p 77-97.

GOLD, P. A. **A Engenharia de Tráfego na Redução e Prevenção de Acidentes de Trânsito**. São Paulo: Instituto Nacional de Segurança no Trânsito, 1995.

GOLDEN, J. **Shoulder Treatment for Accident Reduction**. New York: [s.n], 1992.

GRIFFITH, M. S. Safety Evaluation of Continuous Shoulder Rumble Strips Installed on Freeways. **Safety Evaluation of Continuous Shoulder Rumble Strips**. Washington: Transportation Research Board, TRB nº 990162, jan. 1999.

HANLEY, K.E.; GIBBY, A.R.; FERRARA, T.C. **Analysis of accident-reduction factors on California State Highways**. Califórnia: Transport Research Record nº 1717. p. 37- 45. 2000.

HICKEY JR., J. J. Shoulder Rumble Strip Effectiveness: drift-off-road Accident reductions on the Pennsylvania Turnpike. In: ANUAL MEETING OF THE TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 76., Washington, 1997. **Proceedings ...**

Washington: Transportation Research Board 1573, TRB, National Research Council, 1997, pp. 105-109.

HOT LINE INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **Megaline**. São Paulo. 2003. (Folder de divulgação).

INCORP CONSULTORIA E ASSESSORIA LTDA. **Projeto de Engenharia Econômica** – Pólo Caxias do Sul. Rio Grande do Sul: Programa Estadual de Concessão Rodoviária, 1997.

INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS APLICADAS – IPEA. **Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Aglomerações Urbanas**. Brasília: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. 2003.

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM . **NCHRP Report 44**. Accident Mitigation Guide for Congested Rural Two-Lane Highways. [S.l.]: Transportation Research Board, National Research Council, 2000.

NEUMANN, R. Safer on Reflection. **Traffic Technology International**. Austria: Swarco Holding AG., 2002.

NODARL.C.T. **Método de Avaliação da Segurança Potencial de Segmentos Rodoviários Rurais de Pista Simples**. 2003. 194 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

OGDEN, K.W. **Safer roads: a guide to road safety engineering**. Cambridge: Ashgate Publishing Limited, University Press, 1996.

PANITZ, M.A. Auditoria de segurança viária: a oportunidade perdida para redução da severidade de acidentes rodoviários. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 10., 1996, Brasília. **Anais...** Brasília: ANPET, p. 695-705, 1996, v. 2.

PAULIFRESA FRESAGEM E RECICLAGEM LTDA. **Folder de divulgação**. São Paulo. 2003.

PUTIGNANO, C.; PENNISI, L. **Social Cost of Road Accidents**. Italia: Italian Case Study, 1999.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Secretaria dos Transportes. Departamento Estadual de Estradas de Rodagem – **DAER**. Projeto Executivo da Rodovia RS/122, trecho Rincão do Cascalho – Antônio Prado – Entr. BR/116, subtrecho Flores da Cunha – Antônio Prado. Rio Grande do Sul. DAER, 1978.

SOUZA, F. P. **Efeito do Ruído no Homem Dormindo e Acordado**. Belo Horizonte: UFMG. Laboratório de Psicofisiologia ICB-UFMG. 2000. Disponível em: www.sobrac.ufsc.br/revistas/jul2000.htm. Acesso em: 21/07/2003.

TURNER – FAIRBANK HIGHWAY RESEARCH CENTER – TFHRC. **Focus**. Boosting Roadway Safety with Rumble Strips. Disponível em: <http://www.tfhrc.gov/focus/may02/rumble.htm>. 2002. Acesso em: 20/05/2003.

TURNER – FAIRBANK HIGHWAY RESEARCH CENTER – TFHRC. **Focus**. Disponível em: <http://www.tfhrc.gov/focus/sept99/rumble.htm>. 1999. Acesso em: 22/05/2003.

UK DEPARTMENT FOR TRANSPORTS. **Traffic Advisory Leaflets 11/93: Rumble Devices**. Disponível em: <http://www.roads.dft.gov.uk/roadnetwork/ditm/tal/traffic/11-93>. 1993. Acesso em: 17/04/2003.

UNIVERSITY OF CALGARY. **Transportation Safety**. Disponível em: http://www.eng.ucalgary.ca/CSCE-Students/transportation_safety.htm. Acesso em: 23/09/2003.

WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION – WSDOT. Disponível em: <http://www.wsdot.wa.gov/EESC/Design/RumbleStripWeb>. Acesso em: 05/07/2002.

ZAIDEL, D.; HAKKERT, S.; BARKAN, R. An Experimental Comparison of Paint Strips & Rumble Strips at Low Volume Rural Intersection. 1984. Israel. In: SEMINAR L. **Anais...** Israel: Technion – Israel Institute of Technology, p: 41-54, 1984.

ZORZETTO, R. **Sono Afeta Motoristas de Ônibus no Horário de Trabalho**. Unifesp Comunicação. Disponível em: <http://www.unifesp.br/comunicacao/jpta/ed155/pesq1.htm>. Acesso em: 10/10/2003.

ANEXO

ANEXO A – DADOS SOBRE A FRESADORA W350

Fresadora W350, é um equipamento compacto para reparos parciais em rodovias e para a remoção de pavimentos internos em edifícios (asfalto ou concreto).

A largura de fresagem de 35 cm permite maior economia que as fresadoras tradicionais W1000, sem prejuízo da profundidade que pode chegar a 10 cm. Os dados a seguir mostram a capacidade do equipamento:

Largura máxima de fresagem	350 mm
Profundidade de fresagem	0 - 100 mm
Potência do motor	35 kW / 43,5 PS
Velocidade de trabalho	0 - 20 m/min
Peso próprio	4.100 daN (kg)
Dimensões para transportes (C x L x A)	2.787 x 1.115 x 1.873 mm
Número de rodas	3
Acionamento do tambor de fresagem	mecânico
Acionamento de translação	hidráulico com as rodas dianteiras motrizes

APÊNDICE

APÊNDICE A – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO (RS/122)



Foto 1 - km 90 - Início do trecho em estudo. Curva acentuada, onde foram colocados tachões sobre a pista (Guias Sonoras com Ranhuras Salientes) para redução de velocidade.



Foto 2 - km 91 - Trecho curto em reta e em declive.



Foto 3 - km 92+700 - Acesso à Flores da Cunha e Otávio Rocha.



Foto 4 - km 94+200 - Trecho curto em reta e em declive.



Foto 5 - km 94+600 - Curva em "S", em declive. Disp de segurança do tipo Defesa.



Foto 6 - km 96+700 - Acesso à Nova Roma do Sul/Nova Pádua e Acesso sec. à Flores da Cunha. Trecho de grande extensão em reta. Uso de Guias Sonoras com Ranhuras Salientes de Eixo.



Foto 7 - km 99+700 - Trecho em curvas.
Acesso à Flores da Cunha



Foto 8 - km 101 - Praça de Pedágio.



Foto 9 - Fim do km 101 - Após o Pedágio.
Trecho extenso em reta



Foto 10 - km 102 - Início de trecho com curvas acentuadas. Placa indicando cuidado.



Foto 11 - km 102+700 - Acesso à Nossa Sra. do Carmo. Trecho em curva acentuada, local com grande incidência de acidentes.



Foto 12 - km 103 - Local de curva acentuada. Percebe-se a falta do acostamento aqui e nos próximos km.



Foto 13 - km 104 - Trecho em curva acentuada, proteção através de defensas. Terceira faixa na pista da esquerda.



Foto 14 - km 104 - Trecho em curva acentuada, local de muito acidente, onde foram colocados tachões sobre a pista (Guias Sonoras de Pista com Ranhuras Salientes) para redução de



Foto 15 - km 109+500 - Início da Ponte sobre o Rio das Antas.



Foto 16 - km 109+500 - Ponte sobre o Rio das Antas, com 299,40 m.



Foto 17 - km 110 - Trecho extenso em reta.



Foto 18 - km 112 - Guias Sonoras de Pista com Ranhuras Salientes para redução de velocidade, terceira faixa na pista I D



Foto 19 - km 112 - Detalhe dos cortes em rocha existentes ao longo do trecho estudado.



Foto 20 - km 120 - Trecho em reta e praticamente plano.



Foto 21 - km 126+200 - Acesso à Linha Camargo, trecho em terceira faixa.



Foto 22 - km 128 - Fim do trecho em estudo e fim da concessão.