

**INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES**  
**Autarquia Associada à Universidade de São Paulo**

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO RISCO NO  
TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS**

**LUIZ CARLOS HARTMAN**

Tese apresentada como parte  
dos requisitos para a obtenção  
do Grau de Doutor em Ciências  
na Área de Tecnologia Nuclear  
– Materiais

Orientadora:  
Profa. Dra. Maria Ap. Faustino Pires

**SÃO PAULO**  
**2009**

## AGRADECIMENTOS

À Dra. Maria Aparecida Faustino Pires pela orientação, apoio, incentivo, confiança, amizade e paciência.

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP e ao Centro de Química e Meio Ambiente – CQMA pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

A Eng<sup>a</sup> Marlene dos Reis Araujo e Eng<sup>o</sup>. Paulo Roberto Marchini do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo que forneceram dados sobre acidentes nas rodovias paulistanas.

Ao Eng<sup>o</sup>. Carlos Eduardo M. Costa supervisor de Centro de Controle Operacional - CCO, e Srta. Cristina Hollada da ouvidoria da AutoBAn, que forneceram o volume de tráfego e de acidentes no complexo Anhanguera – Bandeirantes.

Ao Capitão da Polícia Militar do Estado de São Paulo Luis Carlos Pardubsky, Diretor da Divisão de Educação de Trânsito do DETRAN/SP, que forneceu dados sobre os condutores habilitados em conduzir veículos que transportem cargas perigosas.

Ao Analista de Atendimento a Clientes, da DATAMEC/UNISYS, Daniel Rocha e Silva, que fez a preparação e tratamento dos dados, referente a Relação Anual de Informações Sociais - RAIS, do Ministério de Trabalho.

Ao amigo Eng<sup>o</sup> M.Sc. Biomédico Cantidio Moura Campos Neto do Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia, pelo trabalho de conversão de banco de dados permitindo a extração de informações sem as quais este trabalho não seria viável.

Ao amigo Prof. Dr. Denys Emilio Campion Nicolosi, que sem sua ajuda e incentivo em todos os momentos este trabalho não seria concluído.

Ao amigo Físico Adolfo Marra Neto, a quem atribuo a indicação do IPEN como escola de primeiro mundo para que eu cursasse o doutorado.

Ao Prof. M. Sc. Luis Antônio Terribile de Matos do IPEN, que me incentivou a cursar o doutorado e propiciou o contato inicial com a Profa. Maria Aparecida Faustino Pires.

Ao amigo e colega de trabalho Prof. Dr. Tufic Madi Filho que sistematicamente ensinou-me o “caminho das pedras”, na abordagem dos dados a serem apresentados neste trabalho.

Aos amigos que são muitos, sempre me apoiando nos momentos de dificuldade.

À minha família

Aos meus pais, Pedro e Beatriz que deram a oportunidade de sentir a vibração da vida em sua plenitude “*in memoriam*”.

*O escambo da alma e do caráter não é passível de ser feito, a não ser quem os não têm.*

## PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO RISCO NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS

Luiz Carlos Hartman

### RESUMO

A crescente preocupação com o nível de risco associado ao transporte de materiais perigosos levou várias instituições internacionais a empenhar esforços na avaliação de risco em nível regional. Seguindo essa tendência, o objetivo deste trabalho foi analisar os mais recentes processos de análise de riscos decorrentes do transporte rodoviário de materiais perigosos. No presente trabalho foram avaliadas 21 metodologias de análise de riscos, desenvolvidas por vários autores e para diversas localidades. Em especial, duas foram revistas e discutidas: um método recentemente desenvolvido pelo Instituto Federal Suíço de Tecnologia (Nicolet-Monnier e Gheorghe, 1996) e a estratégia delineada pelo *Center for Chemical Process Safety* - CCPS (1995), levando em consideração a estimativa do risco individual e social. Também foram aplicados os modelos de Harwood *et al.* (1990) e de Ramos (1997), adaptados por Hartman (2003) à realidade das estradas do Estado de São Paulo. A extensão dessas metodologias foi explorada, a fim de encontrar as suas vantagens e desvantagens. Como estudo de caso o presente trabalho considerou o transporte de amônia ao longo de duas rotas possíveis por rodovias do Estado de São Paulo, incluindo uma parcela significativa de avaliação em área densamente povoada, obtendo-se os resultados utilizando uma das metodologias de análise de risco. A inovação proposta por esse trabalho foi a pesquisa, o desenvolvimento e a introdução de duas variáveis ao modelo proposto por Harwood *et al.* (1990). Essas variáveis ponderadoras no valor do risco foram: a idade do condutor e a zona de impacto conforme o período do dia em que o transporte foi realizado em função do volume do produto transportado. As alterações propostas têm como objetivo deixar o valor do risco mais sensível em relação ao tipo do produto transportado e a idade do condutor. As principais etapas processuais relacionadas com a análise quantitativa dos riscos para sistemas de transporte são suportadas pelos métodos precedentes para instalações fixas. Especial atenção foi dada à forma de coletar

informações locais e para estimar coeficientes que refletissem as condições prevalentes na região considerada no estudo de caso apresentado.

Palavras-chave: Análise de riscos, transporte, produtos perigosos, risco, rotas, metodologia, modelo.

## **PROPOSAL OF RISK EVALUATION METHODOLOGY FOR HAZARDOUS MATERIALS TRANSPORTATION**

Luiz Carlos Hartman

### **ABSTRACT**

The increasing concern with the level of risk associated with the transportation of hazardous materials took some international institutions to pledge efforts in the evaluation of risk in regional level. Following this trend, the objective of this work was to analyze the most recent processes of analysis of risks from road transportation of hazardous materials. In the present work 21 methodologies of analysis of risks, developed by some authors and for diverse localities have been evaluated. Two of them, in special, have been reviewed and discussed: a method recently developed by the Swiss Federal Institute of Technology (Nicolet-Monnier and Gheorghe, 1996) and the strategy delineated by the Center for Chemical Process Safety CCPS (1995), taking into consideration the estimate of the individual and social risk. Also, the models of Harwood *et al.* (1990) and of Ramos (1997), adapted by Hartman (2003) have been applied to the reality of the roads of the state of São Paulo. The extension of these methodologies was explored, in order to find its advantages and disadvantages. As a study case the present work considered the ammonia transportation throughout two routes evaluating the reality of the roads of the state of São Paulo, including a significant parcel of evaluation in a densely populated area, getting the results using risk, at least, one of the methodologies mentioned above. The innovation proposed by this work was the research, the development and the introduction of two variables to the model considered by Harwood *et al.* (1990). These variables that influence in the value of the risk are: the age of the driver of truck and the zone of impact that is function type of product, period of the day where the transport was carried and the volume that has been transported. The aim of the proposed modifications is to let the value of the risk more sensible in relation to the type of the product carried and the age of the truck driver. The main related procedural stages with the quantitative analysis of the risks for

transportation systems are supported by the preceding methods for fixed installations. Special attention was given on to how to collect local information and estimate those coefficients that represent the actual conditions of the region considered in the presented study case.

Keywords: Risk analysis, transportation, hazardous materials, methodology, model, risk, routes.

## ÍNDICE

**Página**

<b>LISTAS DE FIGURAS E TABELAS.....</b>	
<b>SIGLAS E ABREVIACÕES.....</b>	
<b>RESUMO.....</b>	
<b>ABSTRACT.....</b>	
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo.....	8
1.2 Estrutura do Trabalho.....	9
<b>2 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA.....</b>	<b>11</b>
2.1 Acidentes com produtos perigosos nos EUA.....	11
2.2 Acidentes com produtos perigosos na Suíça.....	16
2.3 Acidentes com produtos perigosos no Brasil.....	18
2.4 Considerações do capítulo.....	34
<b>3 METODOLOGIAS ATUALMENTE DISPONÍVEIS PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS .....</b>	<b>35</b>
3.1 Conceitos Gerais.....	35
3.2 Estado da arte das metodologias para a seleção de rotas mais seguras.....	47
<b>4 TÉCNICA ADOTADA PARA GERENCIAMENTO E AVALIAÇÃO DE RISCOS.....</b>	<b>58</b>
4.1 Uma estrutura para o gerenciamento de riscos.....	59
4.2 Aplicação prática de programa de gerenciamento de riscos.....	61
4.3 Técnica adotada para avaliação de riscos.....	67
4.4 Estudo e adaptação da variável largura da zona de impacto no cálculo do risco.....	83
4.4.1 Desenvolvimento das distâncias de isolamento.....	85
4.4.2 Conclusões sobre o estudo da influência da variável largura da zona de impacto no cálculo do risco.....	87
4.5 Estudo da influência da faixa etária do condutor na ocorrência de acidentes no transporte de produtos perigosos.....	88
4.5.1 Desenvolvimento das distribuições de acidentes por faixa etária.....	91
4.5.2 Conclusões sobre influência da faixa etária do condutor na ocorrência de acidentes no transporte de produtos perigosos.....	96
<b>5 ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>100</b>
5.1 Aplicação prática da metodologia nas rotas selecionadas.....	101
<b>6 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO.....</b>	<b>119</b>
6.1 Discussão sobre a aplicação prática da metodologia nas rotas selecionadas.....	119
6.2 Discussão sobre a introdução do parâmetro zona de impacto.....	124
6.3 Discussão sobre a introdução do parâmetro faixa etária do condutor na ocorrência de acidentes no transporte de produtos perigosos .....	124
6.4 Sugestões para pesquisas futuras.....	125
6.5 Conclusão.....	127
6.5.1 Referente ao item 6.1 metodologia aplicada no estudo de caso .....	127
6.5.2 Referente ao item 6.2 introdução do parâmetro zona de impacto.....	128
6.5.3 Referente ao item 6.3 introdução do parâmetro faixa etária do condutor.....	128
<b>7 ANEXO I.....</b>	<b>130</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>132</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Páginas	
1	Distribuição percentual de acidentes, por rodovia com transporte de produtos perigosos, no Estado de São Paulo. Período 2004 – 2007. Representação gráfica da TAB. 1.....	8
2	Exemplo de acidente com produto perigoso mostrado pelo DNER.....	19
3	Exemplo de acidente ocorrido em 1º de janeiro de 1997, com vazamento de ácido sulfúrico, mostrado pela CETESB.....	21
4	Percentual de acidentes com produtos perigosos por atividade ocorridos no Estado de São Paulo. Período 1978 – 2008.....	22
5	Distribuição percentual de acidentes com produtos perigosos ocorridos durante o transporte no Estado de São Paulo. Período 1983 – 2008.....	22
6	Distribuição percentual de acidentes no transporte de produtos perigosos no Estado de São Paulo em que houve contaminação. Período 1983 – 008.....	23
7	Número de acidentes com transporte de produtos perigosos em que ocorreu vazamento do produto no Estado de São Paulo. Período 2004 – 2007. Valores extraídos exclusivamente para este trabalho, dos boletins de ocorrência da Polícia Rodoviária e DER. ....	25
8	Número total de acidentes ocorridos no Estado de São Paulo – Estão inclusos: acidentes, com automóveis, caminhões e ônibus. Valores extraídos exclusivamente para este trabalho, dos boletins de ocorrência da Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo.....	27
9	Distribuição percentual de acidentes ocorridos durante o transporte de produtos perigosos nos EUA. Período 1998 – 2007.....	27
10	Distribuição percentual de acidentes ocorridos durante o transporte de produtos perigosos no Estado de São Paulo. Período 1998 – 2007.....	28
11	Triângulo estatístico de Bird e Fletcher.....	45
12	Etapas de implantação e operação do programa de gerenciamento de riscos utilizado pela ABIQUIM / ABICLOR.....	67
13	Processo passo a passo para mesclar dados da geometria das rodovias, volumes de tráfego e dados sobre acidentes.....	70
14	Distâncias sugeridas pelo Emergency Response Guidebook -2008 .....	86
15	Porcentagem de acidentes com produtos perigosos ocorridos no Estado de São Paulo por faixa etária do condutor.....	89
16	Distribuição de acidentes ocorridos com condutores por faixa etária no Estado de Victoria, Austrália, no ano de 2007.....	90
17	Distribuição de acidentes ocorridos com condutores por faixa etária no Estado de Connecticut, EUA. Período 2001 – 2005.....	91
18	Gráfico obtido da TAB. 16 mostrando a distribuição percentual média de acidentes com produtos perigosos por faixa etária do condutor. Período 2004 – 2007.....	95
19	Gráfico obtido da TAB. 16 mostrando a distribuição percentual média de acidentes normalizados pela faixa etária de 40 a 49 anos.....	96
20	Distribuição percentual por faixa etária dos condutores disponíveis para conduzir produtos perigosos no Estado de São Paulo.....	98
21	Mapa linear mostrando rodovias eleitas como rotas para estudo de estudo de caso, indicando as cidades limdeiras às mesmas.....	102
22	Mapa linear simplificado mostrando rodovias eleitas como rotas para estudo de estudo.....	103
23	Imagem via satélite obtida do site Google em 5 de maio de 2009, mostra o entorno do trecho AK assinalado na Rodovia Anhanguera – SP330.....	121

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabelas		Página
1	Informações sobre o número de acidente com transporte de produtos perigosos nas rodovias do Estado de São Paulo no período de 2004 a 2007.....	7
2	Acidentes no transporte de produtos perigosos que ocasionaram algum dano à pessoa nos EUA.....	12
3	Acidentes ocorridos nos EUA, ano 2008, durante o transporte de produtos perigosos por meio de rodovias – causas x número de acidentes.....	13
4	Autores que desenvolveram metodologias para o cálculo de risco no transporte de produtos perigosos.....	48
5	Classificação de rodovias para aplicar a metodologia proposta.....	71
6	Taxas de acidentes com caminhões nas rodovias do Estado da Califórnia – EUA – período 1985 – 1987.....	73
7	Distribuição por tipo de acidente com produtos perigosos com caminhões na malha rodoviária Estado da Califórnia – período 3 anos.....	74
8	Taxas de acidentes combinadas com caminhões.....	74
9	Probabilidade de vazamento em função do tipo de acidente.....	76
10	Probabilidade de vazamento de produto perigoso dado um acidente tenha ocorrido em função classe da rodovia.....	77
11	Taxas padronizadas de acidentes com vazamentos tendo ocorrido um acidente dado uma classe de rodovia, para utilização na análise de roteamento do transporte de produtos perigosos.....	79
12	Valores críticos da distribuição de Poisson.....	82
13	Distribuição de acidente com por faixa etária do condutor. Acidentes ocorridos no Estado de São Paulo.....	92
14	Condutores com registro em carteira que transportam produtos perigosos, no Estado de São Paulo.....	93
15	Evolução de acidentes por condutor.....	94
16	Probabilidade normalizada para a faixa etária de 40 a 49 anos.....	95
17	Relação de todos os motoristas disponíveis para conduzir produtos perigosos no Estado de São Paulo.....	97
18	Número de acidentes com vazamentos, ocorridos com o transporte de produtos perigosos nas rodovias do Estado de São Paulo – Período 2004 – 2007.....	104
19	Densidade demográfica no entorno das rodovias em estudo.....	116
20	Rota I – Jundiá à Americana via rodovia dos Bandeirantes – SP. Cálculo da taxa de acidente para avaliação de risco.....	113
21	Cálculo parcial da população exposta ao risco na Rota I – Jundiá à Americana via rodovia dos Bandeirantes – com as combinações possíveis entre faixas etárias do condutor e zona de impacto, para os períodos diurnos e noturnos – simulação para o transporte de amônia em volumes maiores do que 55 galões ou 208,197648 litros.....	114
22	Cálculo da população exposta ao risco por trecho para a Rota I – Jundiá à Americana via rodovia dos Bandeirantes.....	115
23	Rota II – Jundiá à Americana via Anhanguera – SP- Cálculo da taxa de acidente para avaliação de risco.....	116
24	Cálculo parcial da população exposta ao risco na Rota II – Jundiá à Americana via rodovia Anhanguera – com as combinações possíveis entre faixas etárias do condutor e zona de impacto, para os períodos diurnos e noturnos – simulação para o transporte de amônia em volumes maiores do que 55 galões ou 208,197648 litros.....	117
25	Cálculo da população exposta ao risco por trecho para a Rota II – Jundiá à Americana via rodovia Anhanguera.....	118

### SIGLAS e ABREVIACÕES

ABICLOR	Associação Brasileira da Indústria de Álcalis, Cloro e Derivados
ABIQUIM	Associação Brasileira da Indústria Química
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
AQR	Análise Quantitativa de Risco
BR 101	Rodovia sem nome próprio
CCPS	Center for Chemical Process Safety
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CETREM / SUL	Centro de Estudos e Treinamento para Emergências da Região Sul
CMA	Chemical Manufacturers Association
CP	índice de preparo da comunidade
CPRH	Companhia Pernambucana do Meio Ambiente
CQMA	Centro de Química e Meio Ambiente
CR	índice de risco da comunidade
DATAMEC	Empresa do Grupo UNISYS de Processamento de Dados
DDCSC	Departamento de Defesa Civil de Santa Catarina
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DETRAN - SP	Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo
DNER	Departamento Nacional Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DOT	U.S. Department of Transportation
EUA	Estados Unidos da America
Excel	Microsoft Office Excel - planilha eletrônica
FATMA	Fundação do Meio Ambiente
FHWA	Federal Highway Administration
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FOEN	Federal Office for the Environment
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GTZ	Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit
HMIS	Hazardous Materials Information System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia e Qualidade Industrial
IPEM	Instituto de Pesos e Medidas
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
km	quilômetro
mi	milha
NAS	National Academy of Sciences
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PHMSA	Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration's
PHR	Potential Hazard Rating
PMRESP	Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo
ppm	parte por milhão
Pres.	Presidente
QRA	Quantitative Risk Analysis
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
REPLAN	Refinaria do Planalto Paulista

RSPA	Research and Special Programs Administration
SI	Sistema Internacional de Unidades
SP 300	Via Marechal Rondon
SP 310	Rodovia Washington Luiz
SP 330	Via Anhanguera
SP 332	Via. Pres. Tancredo Neves
SP 348	Rodovia dos Bandeirantes
TAC	Transport Accident Commission
TRA	Transportation Risk Assessment
USP	Universidade de São Paulo

**INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES**  
**Autarquia Associada à Universidade de São Paulo**

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO RISCO NO  
TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS**

**LUIZ CARLOS HARTMAN**

Tese apresentada como parte  
dos requisitos para a obtenção  
do Grau de Doutor em Ciências  
na Área de Tecnologia Nuclear  
– Materiais

Orientadora:  
Profa. Dra. Maria Ap. Faustino Pires

**SÃO PAULO**  
**2009**

## AGRADECIMENTOS

À Dra. Maria Aparecida Faustino Pires pela orientação, apoio, incentivo, confiança, amizade e paciência.

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP e ao Centro de Química e Meio Ambiente – CQMA pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

A Eng<sup>a</sup> Marlene dos Reis Araujo e Eng<sup>o</sup>. Paulo Roberto Marchini do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo que forneceram dados sobre acidentes nas rodovias paulistanas.

Ao Eng<sup>o</sup>. Carlos Eduardo M. Costa supervisor de Centro de Controle Operacional - CCO, e Srta. Cristina Hollada da ouvidoria da AutoBAn, que forneceram o volume de tráfego e de acidentes no complexo Anhanguera – Bandeirantes.

Ao Capitão da Polícia Militar do Estado de São Paulo Luis Carlos Pardubsky, Diretor da Divisão de Educação de Trânsito do DETRAN/SP, que forneceu dados sobre os condutores habilitados em conduzir veículos que transportem cargas perigosas.

Ao Analista de Atendimento a Clientes, da DATAMEC/UNISYS, Daniel Rocha e Silva, que fez a preparação e tratamento dos dados, referente a Relação Anual de Informações Sociais - RAIS, do Ministério de Trabalho.

Ao amigo Eng<sup>o</sup> M.Sc. Biomédico Cantidio Moura Campos Neto do Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia, pelo trabalho de conversão de banco de dados permitindo a extração de informações sem as quais este trabalho não seria viável.

Ao amigo Prof. Dr. Denys Emilio Campion Nicolosi, que sem sua ajuda e incentivo em todos os momentos este trabalho não seria concluído.

Ao amigo Físico Adolfo Marra Neto, a quem atribuo a indicação do IPEN como escola de primeiro mundo para que eu cursasse o doutorado.

Ao Prof. M. Sc. Luis Antônio Terribile de Matos do IPEN, que me incentivou a cursar o doutorado e propiciou o contato inicial com a Profa. Maria Aparecida Faustino Pires.

Ao amigo e colega de trabalho Prof. Dr. Tufic Madi Filho que sistematicamente ensinou-me o “caminho das pedras”, na abordagem dos dados a serem apresentados neste trabalho.

Aos amigos que são muitos, sempre me apoiando nos momentos de dificuldade.

À minha família – especialmente a Elizabeth esposa e companheira de todas as horas.

Aos meus pais, Pedro e Beatriz que deram a oportunidade de sentir a vibração da vida em sua plenitude “*in memoriam*”.

*O escambo da alma e do caráter não é passível de ser feito, a não ser quem os não têm.*

## PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO RISCO NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS

Luiz Carlos Hartman

### RESUMO

A crescente preocupação com o nível de risco associado ao transporte de materiais perigosos levou várias instituições internacionais a empenhar esforços na avaliação de risco em nível regional. Seguindo essa tendência, o objetivo deste trabalho foi analisar os mais recentes processos de análise de riscos decorrentes do transporte rodoviário de materiais perigosos. No presente trabalho foram avaliadas 21 metodologias de análise de riscos, desenvolvidas por vários autores e para diversas localidades. Em especial, duas foram revistas e discutidas: um método recentemente desenvolvido pelo Instituto Federal Suíço de Tecnologia (Nicolet-Monnier e Gheorghe, 1996) e a estratégia delineada pelo *Center for Chemical Process Safety* - CCPS (1995), levando em consideração a estimativa do risco individual e social. Também foram aplicados os modelos de Harwood *et al.* (1990) e de Ramos (1997), adaptados por Hartman (2003) à realidade das estradas do Estado de São Paulo. A extensão dessas metodologias foi explorada, a fim de encontrar as suas vantagens e desvantagens. Como estudo de caso o presente trabalho considerou o transporte de amônia ao longo de duas rotas possíveis por rodovias do Estado de São Paulo, incluindo uma parcela significativa de avaliação em área densamente povoada, obtendo-se os resultados utilizando uma das metodologias de análise de risco. A inovação proposta por esse trabalho foi a pesquisa, o desenvolvimento e a introdução de duas variáveis ao modelo proposto por Harwood *et al.* (1990). Essas variáveis ponderadoras no valor do risco foram: a idade do condutor e a zona de impacto conforme o período do dia em que o transporte foi realizado em função do volume do produto transportado. As alterações propostas têm como objetivo deixar o valor do risco mais sensível em relação ao tipo do produto transportado e a idade do condutor. As principais etapas processuais relacionadas com a análise quantitativa dos riscos para sistemas de transporte são suportadas pelos métodos precedentes para instalações fixas. Especial atenção foi dada à forma de coletar

informações locais e para estimar coeficientes que refletissem as condições prevalentes na região considerada no estudo de caso apresentado.

Palavras-chave: Análise de riscos, transporte, produtos perigosos, risco, rotas, metodologia, modelo.

## **PROPOSAL OF RISK EVALUATION METHODOLOGY FOR HAZARDOUS MATERIALS TRANSPORTATION**

Luiz Carlos Hartman

### **ABSTRACT**

The increasing concern with the level of risk associated with the transportation of hazardous materials took some international institutions to pledge efforts in the evaluation of risk in regional level. Following this trend, the objective of this work was to analyze the most recent processes of analysis of risks from road transportation of hazardous materials. In the present work 21 methodologies of analysis of risks, developed by some authors and for diverse localities have been evaluated. Two of them, in special, have been reviewed and discussed: a method recently developed by the Swiss Federal Institute of Technology (Nicolet-Monnier and Gheorghe, 1996) and the strategy delineated by the Center for Chemical Process Safety CCPS (1995), taking into consideration the estimate of the individual and social risk. Also, the models of Harwood *et al.* (1990) and of Ramos (1997), adapted by Hartman (2003) have been applied to the reality of the roads of the state of São Paulo. The extension of these methodologies was explored, in order to find its advantages and disadvantages. As a study case the present work considered the ammonia transportation throughout two routes evaluating the reality of the roads of the state of São Paulo, including a significant parcel of evaluation in a densely populated area, getting the results using risk, at least, one of the methodologies mentioned above. The innovation proposed by this work was the research, the development and the introduction of two variables to the model considered by Harwood *et al.* (1990). These variables that influence in the value of the risk are: the age of the driver of truck and the zone of impact that is function type of product, period of the day where the transport was carried and the volume that has been transported. The aim of the proposed modifications is to let the value of the risk more sensible in relation to the type of the product carried and the age of the truck driver. The main related procedural stages with the quantitative analysis of the risks for

transportation systems are supported by the preceding methods for fixed installations. Special attention was given on to how to collect local information and estimate those coefficients that represent the actual conditions of the region considered in the presented study case.

Keywords: Risk analysis, transportation, hazardous materials, methodology, model, risk, routes.

## ÍNDICE

**Página**

<b>LISTAS DE FIGURAS E TABELAS.....</b>	
<b>SIGLAS E ABREVIACÕES.....</b>	
<b>RESUMO.....</b>	
<b>ABSTRACT.....</b>	
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo.....	8
1.2 Estrutura do Trabalho.....	9
<b>2 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA.....</b>	<b>11</b>
2.1 Acidentes com produtos perigosos nos EUA.....	11
2.2 Acidentes com produtos perigosos na Suíça.....	16
2.3 Acidentes com produtos perigosos no Brasil.....	18
2.4 Considerações do capítulo.....	34
<b>3 METODOLOGIAS ATUALMENTE DISPONÍVEIS PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS .....</b>	<b>35</b>
3.1 Conceitos Gerais.....	35
3.2 Estado da arte das metodologias para a seleção de rotas mais seguras.....	47
<b>4 TÉCNICA ADOTADA PARA GERENCIAMENTO E AVALIAÇÃO DE RISCOS.....</b>	<b>58</b>
4.1 Uma estrutura para o gerenciamento de riscos.....	59
4.2 Aplicação prática de programa de gerenciamento de riscos.....	61
4.3 Técnica adotada para avaliação de riscos.....	67
4.4 Estudo e adaptação da variável largura da zona de impacto no cálculo do risco.....	83
4.4.1 Desenvolvimento das distâncias de isolamento.....	85
4.4.2 Conclusões sobre o estudo da influência da variável largura da zona de impacto no cálculo do risco.....	87
4.5 Estudo da influência da faixa etária do condutor na ocorrência de acidentes no transporte de produtos perigosos.....	88
4.5.1 Desenvolvimento das distribuições de acidentes por faixa etária.....	91
4.5.2 Conclusões sobre influência da faixa etária do condutor na ocorrência de acidentes no transporte de produtos perigosos.....	96
<b>5 ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>100</b>
5.1 Aplicação prática da metodologia nas rotas selecionadas.....	101
<b>6 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO.....</b>	<b>119</b>
6.1 Discussão sobre a aplicação prática da metodologia nas rotas selecionadas.....	119
6.2 Discussão sobre a introdução do parâmetro zona de impacto.....	124
6.3 Discussão sobre a introdução do parâmetro faixa etária do condutor na ocorrência de acidentes no transporte de produtos perigosos .....	124
6.4 Sugestões para pesquisas futuras.....	125
6.5 Conclusão.....	127
6.5.1 Referente ao item 6.1 metodologia aplicada no estudo de caso .....	127
6.5.2 Referente ao item 6.2 introdução do parâmetro zona de impacto.....	128
6.5.3 Referente ao item 6.3 introdução do parâmetro faixa etária do condutor.....	128
<b>7 ANEXO I.....</b>	<b>130</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>132</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Páginas	
1	Distribuição percentual de acidentes, por rodovia com transporte de produtos perigosos, no Estado de São Paulo. Período 2004 – 2007. Representação gráfica da TAB. 1.....	8
2	Exemplo de acidente com produto perigoso mostrado pelo DNER.....	19
3	Exemplo de acidente ocorrido em 1º de janeiro de 1997, com vazamento de ácido sulfúrico, mostrado pela CETESB.....	21
4	Percentual de acidentes com produtos perigosos por atividade ocorridos no Estado de São Paulo. Período 1978 – 2008.....	22
5	Distribuição percentual de acidentes com produtos perigosos ocorridos durante o transporte no Estado de São Paulo. Período 1983 – 2008.....	22
6	Distribuição percentual de acidentes no transporte de produtos perigosos no Estado de São Paulo em que houve contaminação. Período 1983 – 008.....	23
7	Número de acidentes com transporte de produtos perigosos em que ocorreu vazamento do produto no Estado de São Paulo. Período 2004 – 2007. Valores extraídos exclusivamente para este trabalho, dos boletins de ocorrência da Polícia Rodoviária e DER. ....	25
8	Número total de acidentes ocorridos no Estado de São Paulo – Estão inclusos: acidentes, com automóveis, caminhões e ônibus. Valores extraídos exclusivamente para este trabalho, dos boletins de ocorrência da Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo.....	27
9	Distribuição percentual de acidentes ocorridos durante o transporte de produtos perigosos nos EUA. Período 1998 – 2007.....	27
10	Distribuição percentual de acidentes ocorridos durante o transporte de produtos perigosos no Estado de São Paulo. Período 1998 – 2007.....	28
11	Triângulo estatístico de Bird e Fletcher.....	45
12	Etapas de implantação e operação do programa de gerenciamento de riscos utilizado pela ABIQUIM / ABICLOR.....	67
13	Processo passo a passo para mesclar dados da geometria das rodovias, volumes de tráfego e dados sobre acidentes.....	70
14	Distâncias sugeridas pelo Emergency Response Guidebook -2008 .....	86
15	Porcentagem de acidentes com produtos perigosos ocorridos no Estado de São Paulo por faixa etária do condutor.....	89
16	Distribuição de acidentes ocorridos com condutores por faixa etária no Estado de Victoria, Austrália, no ano de 2007.....	90
17	Distribuição de acidentes ocorridos com condutores por faixa etária no Estado de Connecticut, EUA. Período 2001 – 2005.....	91
18	Gráfico obtido da TAB. 16 mostrando a distribuição percentual média de acidentes com produtos perigosos por faixa etária do condutor. Período 2004 – 2007.....	95
19	Gráfico obtido da TAB. 16 mostrando a distribuição percentual média de acidentes normalizados pela faixa etária de 40 a 49 anos.....	96
20	Distribuição percentual por faixa etária dos condutores disponíveis para conduzir produtos perigosos no Estado de São Paulo.....	98
21	Mapa linear mostrando rodovias eleitas como rotas para estudo de estudo de caso, indicando as cidades lindeiras às mesmas.....	102
22	Mapa linear simplificado mostrando rodovias eleitas como rotas para estudo de estudo.....	103
23	Imagem via satélite obtida do site Google em 5 de maio de 2009, mostra o entorno do trecho AK assinalado na Rodovia Anhanguera – SP330.....	121

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabelas		Página
1	Informações sobre o número de acidente com transporte de produtos perigosos nas rodovias do Estado de São Paulo no período de 2004 a 2007.....	7
2	Acidentes no transporte de produtos perigosos que ocasionaram algum dano à pessoa nos EUA.....	12
3	Acidentes ocorridos nos EUA, ano 2008, durante o transporte de produtos perigosos por meio de rodovias – causas x número de acidentes.....	13
4	Autores que desenvolveram metodologias para o cálculo de risco no transporte de produtos perigosos.....	48
5	Classificação de rodovias para aplicar a metodologia proposta.....	71
6	Taxas de acidentes com caminhões nas rodovias do Estado da Califórnia – EUA – período 1985 – 1987.....	73
7	Distribuição por tipo de acidente com produtos perigosos com caminhões na malha rodoviária Estado da Califórnia – período 3 anos.....	74
8	Taxas de acidentes combinadas com caminhões.....	74
9	Probabilidade de vazamento em função do tipo de acidente.....	76
10	Probabilidade de vazamento de produto perigoso dado um acidente tenha ocorrido em função classe da rodovia.....	77
11	Taxas padronizadas de acidentes com vazamentos tendo ocorrido um acidente dado uma classe de rodovia, para utilização na análise de roteamento do transporte de produtos perigosos.....	79
12	Valores críticos da distribuição de Poisson.....	82
13	Distribuição de acidente com por faixa etária do condutor. Acidentes ocorridos no Estado de São Paulo.....	92
14	Condutores com registro em carteira que transportam produtos perigosos, no Estado de São Paulo.....	93
15	Evolução de acidentes por condutor.....	94
16	Probabilidade normalizada para a faixa etária de 40 a 49 anos.....	95
17	Relação de todos os motoristas disponíveis para conduzir produtos perigosos no Estado de São Paulo.....	97
18	Número de acidentes com vazamentos, ocorridos com o transporte de produtos perigosos nas rodovias do Estado de São Paulo – Período 2004 – 2007.....	104
19	Densidade demográfica no entorno das rodovias em estudo.....	116
20	Rota I – Jundiá à Americana via rodovia dos Bandeirantes – SP. Cálculo da taxa de acidente para avaliação de risco.....	113
21	Cálculo parcial da população exposta ao risco na Rota I – Jundiá à Americana via rodovia dos Bandeirantes – com as combinações possíveis entre faixas etárias do condutor e zona de impacto, para os períodos diurnos e noturnos – simulação para o transporte de amônia em volumes maiores do que 55 galões ou 208,197648 litros.....	114
22	Cálculo da população exposta ao risco por trecho para a Rota I – Jundiá à Americana via rodovia dos Bandeirantes.....	115
23	Rota II – Jundiá à Americana via Anhanguera – SP- Cálculo da taxa de acidente para avaliação de risco.....	116
24	Cálculo parcial da população exposta ao risco na Rota II – Jundiá à Americana via rodovia Anhanguera – com as combinações possíveis entre faixas etárias do condutor e zona de impacto, para os períodos diurnos e noturnos – simulação para o transporte de amônia em volumes maiores do que 55 galões ou 208,197648 litros.....	117
25	Cálculo da população exposta ao risco por trecho para a Rota II – Jundiá à Americana via rodovia Anhanguera.....	118

### SIGLAS e ABREVIACÕES

ABICLOR	Associação Brasileira da Indústria de Álcalis, Cloro e Derivados
ABIQUIM	Associação Brasileira da Indústria Química
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
AQR	Análise Quantitativa de Risco
BR 101	Rodovia sem nome próprio
CCPS	Center for Chemical Process Safety
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CETREM / SUL	Centro de Estudos e Treinamento para Emergências da Região Sul
CMA	Chemical Manufacturers Association
CP	índice de preparo da comunidade
CPRH	Companhia Pernambucana do Meio Ambiente
CQMA	Centro de Química e Meio Ambiente
CR	índice de risco da comunidade
DATAMEC	Empresa do Grupo UNISYS de Processamento de Dados
DDCSC	Departamento de Defesa Civil de Santa Catarina
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DETRAN - SP	Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo
DNER	Departamento Nacional Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DOT	U.S. Department of Transportation
EUA	Estados Unidos da America
Excel	Microsoft Office Excel - planilha eletrônica
FATMA	Fundação do Meio Ambiente
FHWA	Federal Highway Administration
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FOEN	Federal Office for the Environment
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GTZ	Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit
HMIS	Hazardous Materials Information System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia e Qualidade Industrial
IPEM	Instituto de Pesos e Medidas
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
km	quilômetro
mi	milha
NAS	National Academy of Sciences
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PHMSA	Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration's
PHR	Potential Hazard Rating
PMRESP	Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo
ppm	parte por milhão
Pres.	Presidente
QRA	Quantitative Risk Analysis
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
REPLAN	Refinaria do Planalto Paulista

RSPA	Research and Special Programs Administration
SI	Sistema Internacional de Unidades
SP 300	Via Marechal Rondon
SP 310	Rodovia Washington Luiz
SP 330	Via Anhanguera
SP 332	Via. Pres. Tancredo Neves
SP 348	Rodovia dos Bandeirantes
TAC	Transport Accident Commission
TRA	Transportation Risk Assessment
USP	Universidade de São Paulo

## 1 – INTRODUÇÃO

A necessidade de crescimento de um país leva o homem ao desenvolvimento tecnológico, permitindo a criação e o controle de um volume impressionante de reações químicas, visando principalmente obter produtos para o seu desenvolvimento e bem estar. Muitas dessas substâncias são inofensivas ao homem e ao meio ambiente, outras por sua vez são extremamente danosas. Estima-se que existam atualmente cerca de 20 milhões de formulações químicas, que destas, aproximadamente 1 milhão representa substâncias ou produtos perigosos. Dos produtos classificados pela Organização das Nações Unidas ONU, somente 800 produtos foram estudados sobre seus efeitos na saúde ocupacional do homem (ABIQUIM, 2009).

Materiais perigosos se referem a substâncias que põem em perigo vidas humanas e o meio ambiente. Esses materiais são normalmente agrupados em 9 categorias, que incluem os gases, líquidos inflamáveis, inflamáveis não líquidos, oxidantes, explosivos, ácidos, produtos venenosos e materiais contaminantes, substâncias radioativas e outros materiais perigosos. A classificação internacional dos produtos perigosos, elaborada pela Organização das Nações Unidas, estabelece classes e subclasses de risco que servem para a identificação da substância envolvida e das características que determinam seu grau de periculosidade e para a avaliação do risco (Ferreira, 2003).

O transporte desses materiais é inevitável tomando como base uma economia cada vez mais industrializada. Refinarias, usinas, indústrias químicas e petroquímicas, centros de reciclagem, centros de distribuição e as grandes cidades são as origens e destinos desses materiais. Os materiais perigosos são continuamente movidos entre esses centros. Esses movimentos são naturalmente perigosos assim como a liberação de substâncias perigosas. No entanto, numerosos acidentes mortais causados pela circulação desses materiais exigem a concepção e implantação de planos de prevenção em vários níveis.

Avaliar o risco de uma região implica a utilização de uma metodologia complexa, requerendo informações sobre os perigos para a saúde e o ambiente. Em particular, especial atenção deve ser dada aos potenciais riscos decorrentes do transporte de materiais perigosos principalmente em grandes áreas territoriais que, em alguns casos, são densamente povoadas.

Acidentes reais ou potenciais no transporte e na distribuição de substâncias perigosas podem resultar em morte ou lesões em pessoas, danos à propriedade ou ao ambiente biofísico, com conseqüências de incêndio, explosão ou toxicidade.

Os acidentes envolvendo o transporte de produtos perigosos podem ter conseqüências catastróficas, sobretudo diante da proximidade de cidades existentes nas margens das principais rodovias. Os custos envolvidos na limpeza das áreas contaminadas, somados a cuidados e indenizações às populações atingidas e às multas ambientais, atingem cifras muito elevadas, sem considerar as perdas humanas e ambientais, de valor social incalculável.

Um número crescente de acidentes de transporte que envolva substâncias perigosas tem ocorrido em todo o mundo, dando lugar a grande sensibilização no governo, indústria e comunidade em assuntos que têm a ver com a gestão da segurança do transporte de materiais perigosos.

A Análise de Risco no Setor de Transporte (TRA) é muito semelhante à análise de riscos em instalações fixas, o que torna possível gerenciar e controlar os riscos de transporte pela determinação dos parâmetros mais sensíveis, assim como possibilita identificar e avaliar estratégias de redução dos riscos e alternativas. A TRA pode ser realizada em uma base quantitativa ou qualitativa, com o cálculo relativo ou absoluto do risco, resultante da informação disponível e da finalidade do estudo.

O transporte de produtos perigosos está regulamentado no Brasil pelo Decreto nº 96.044, de 18 de maio de 1988, que estabelece as regras e procedimentos para o transporte desses produtos pelas vias públicas nacionais. A Lei 10.233, de 5 de junho de 2001, ao promover uma reestruturação no setor federal de transporte, estabeleceu, em seu artigo 22, inciso VII, que compete à Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT

regulamentar o transporte de cargas e produtos perigosos em rodovias e ferrovias. Cabe também citar a Portaria 204/97, do Ministério dos Transportes, e a Norma Brasileira – NBR 7.500, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, revisada em março de 2007. Ainda que exista uma legislação adequada, a sociedade como um todo, ainda está despreparada na prevenção de acidentes e atendimentos de emergência, pois desconhece a normas e legislações vigentes, assim com não tem o devido treinamento para o evento acidente.

A crescente preocupação com o nível de risco associado ao transporte de materiais perigosos levou várias instituições internacionais a empenhar esforços na avaliação de risco por região de interesse. Seguindo essa tendência, o objetivo deste trabalho foi pesquisar os mais recentes processos de análise de riscos decorrentes do transporte rodoviário de materiais perigosos, propondo metodologias para quantificar os riscos a que as populações existentes nas margens das rotas estão expostas. A metodologia proposta foi selecionada por ter sido aplicada nos EUA, Suíça e no Brasil. **Como contribuições inovadoras foram introduzidos dois fatores à metodologia selecionada, tornando o cálculo final mais sensível ao risco.**

Cronologicamente foram analisadas vinte e uma metodologias de análise de riscos para o transporte de produtos perigosos, constando-se que todas utilizam como fórmula básica a Equação (1) para o cálculo do risco. Constatou-se que cada pesquisador pondera ao item multiplicador **consequências** conforme as necessidades e particularidades para a região em estudo. Para Barilla *et al.* (2009), no cálculo do risco são considerados os fatores econômicos e ambientais, de tal forma que se obtenha o menor custo entre a origem e o destino da rota. Segundo Dadkar *et al.* (2008), a metodologia é aplicada, de forma estocástica, utilizando-se a relação custo-benefício resultante das diversidades geográficas e de desempenho entre as rotas passíveis de escolha.

As metodologias desenvolvidas pelo Instituto Federal Suíço de Tecnologia (Nicolet-Monnier e Gheorghe, 1996) e pelo Center for Chemical Process Safety - CCPS (2000) consideram a estimativa do risco individual e social como fatores ponderadores das consequências para o cálculo do risco. No modelo de metodologia proposto por Harwood *et al.* (1990), Ramos (1997) e Hartman (2003) e aplicado nas rodovias; norte-americanas, de Santa Catarina e São Paulo, foi explorado o item consequência que reflete o número de

pessoas expostas ao longo da rota escolhida.

Para verificar a influência da introdução das variáveis propostas, neste trabalho foi feito um estudo de caso que considerou o transporte de amônia ao longo de duas rotas avaliando a realidade das estradas do Estado de São Paulo. As rotas selecionadas incluem parcela significativa de avaliação em áreas densamente povoadas. **Para o ineditismo deste trabalho foi utilizada a metodologia utilizada por Harwood *et al.* (1990), Ramos (1997) e Hartman (2003), introduzindo-se duas novas variáveis para aprimorar o valor do risco final calculado, tornado o valor obtido mais sensível ao tipo de produto transportado. As variáveis introduzidas foram: densidade populacional no entorno da rodovia e a faixa etária do condutor.** Especial atenção foi dada à forma de coletar informações locais e para estimar coeficientes que refletem as condições prevalecentes na região considerada no estudo de caso apresentado.

Este trabalho, além de atender às pesquisas acadêmicas, tem como propósito fornecer subsídios às empresas de transportes de produtos perigosos, avaliadores de riscos, população existentes nas margens da rodovia, potencialmente exposta e às autoridades da defesa civil responsáveis por roteamento e empresas seguradoras para reavaliação dos seguros inerentes ao transporte, armazenamento e meio ambiente.

O desenvolvimento de um Banco de Dados, utilizado **neste trabalho, foi elaborado a partir de informações e listas primitivas fornecidas pelas Polícias Rodoviárias, Estadual e Federal do Estado de São Paulo, Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER, Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo – DETRAN e Ministério do Trabalho por meio da incorporação das informações sobre as ocorrências de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos.**

Os registros de acidentes envolvendo o transporte rodoviário de produtos perigosos foram localizados no espaço geográfico, com a finalidade de identificar as principais concentrações espaciais no Estado de São Paulo.

Foram identificadas as rodovias e também os trechos rodoviários com as maiores frequências e concentrações de casos de acidentes com produtos perigosos.

Elaborou-se um levantamento das cidades as margens das rodovias, por intermédio da classificação de todos os distritos e sedes de municípios paulistas, cujo centro situava-se a menos de 500 metros de uma rodovia estadual ou federal e a suas respectivas densidades populacionais, obtendo-se dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009).

Foram elaborados mapas, contendo as principais manchas urbanas do Estado de São Paulo, que são atravessadas por rodovias e identificados pontos locais, onde ocorreram acidentes.

Algumas características dos motoristas que realizam o transporte rodoviário de produtos perigosos foram confrontadas com os condutores de cargas em geral, com a finalidade de observar diferenças de padrão. Também foram evidenciadas algumas características relacionadas com os acidentes registrados, correlacionando-os com os condutores dos veículos.

Foram coletados dados atualizados sobre a faixa etária dos condutores e confrontados com o número de condutores que efetivamente estão em atividade nas empresas de transporte de produtos perigosos. Esse confronto foi feito com o banco de dados fornecidos pelo Ministério do Trabalho na Relação Anual de Informações Sociais – RAIS.

A partir de uma lista primitiva fornecida pelo DER e pela Polícia Rodoviária Estadual, foi obtido um rol detalhado para o período de 2004 a 2007. Além da obtenção dos índices de acidentes nas rodovias paulistas, o rol possibilitou correlações entre acidentes com produtos perigosos e faixa etária do condutor, região de maior ocorrência de acidentes e os produtos que causaram danos ao homem e ao meio ambiente.

Foi constatado que 46,0% dos acidentes ocorridos nas rodovias estaduais concentraram-se em seis rodovias e 34,0%, em somente três rodovias – SP 330 (Via Anhanguera), SP 348 (Rodovia dos Bandeirantes) e SP 310 (Rodovia Washington Luiz).

Para efeito de melhor visualização da distribuição espacial dos acidentes e permitir a comparação entre as rodovias estaduais, com períodos de observação distintos,

calculou-se a média anual de acidentes ocorridos nos trechos definidos pelos limites dos municípios. Esses indicadores foram representados sobre as linhas das rodovias que compõem a malha rodoviária de São Paulo e sobrepostas ao mapa da divisão municipal do Estado.

Como a codificação para as rodovias perimetrais do Estado de São Paulo é atribuído o número ímpar, desta forma um veículo estará circundando a capital, a uma distância aproximada em quilômetros, igual ao próprio número da rodovia. Para a rodovia com o número par, usualmente denominada de rodovia radial, um veículo estará se afastando ou aproximando-se da capital. A maior concentração de acidentes ocorre nesses grandes eixos, isto é, nas rodovias radiais, as quais se destacam pela extensão e por se constituírem grandes rotas de transporte de produtos perigosos para o interior paulista ou mesmo para além das fronteiras do Estado (DER, 2009).

Para efeito de visualização gráfica considerou-se somente as principais rodovias, segundo o número de acidentes registrados, conforme apresentado na TAB.1 e FIG.1 As maiores médias anuais de ocorrências de acidentes foram verificadas nos trechos rodoviários da SP 332 (Pres. Tancredo Neves) – município de Paulínia – e da SP 330 (Via Anhanguera) – município de Limeira. A localização da refinaria de grande porte em Paulínia foi decisiva na explicação do intenso movimento de transporte de produtos químicos na região, da mesma forma que o grande complexo químico de Cubatão explica o intenso movimento de transporte desses produtos nos municípios de Cubatão e São Bernardo do Campo (FERREIRA, 2003). Justifica-se a grande concentração de acidentes nessas regiões ao intenso fluxo de veículos de carga assim como de automóveis.

Outros fatores de risco que agravam esse quadro estão relacionados com as condições das rodovias, dos veículos de carga e do condutor.

Na TAB.1 e FIG.1, são apresentados os dados relativos a acidentes com produtos perigosos onde ocorreram vazamentos. O conveniente seria realizar uma comparação entre o número de acidentes com produtos perigosos relativo ao volume de tráfego de caminhões (que transportam somente esses produtos) por rodovia; contudo, não existe um banco de dados que tenha informações separando os volumes de caminhões com as cargas comuns das cargas perigosas. Embora a legislação vigente obrigue as empresas a

informarem a Polícia Rodoviária Federal os dados sobre o volume, a origem e o destino das cargas perigosas, a lei não é cumprida nesse quesito. Dessa forma, não é possível obter uma amostra representativa da probabilidade de ocorrência dos acidentes com cargas perigosas relativo ao volume transportado.

TABELA 1 – Informações sobre o número de acidente com transporte de produtos perigosos nas rodovias do Estado de São Paulo no período de 2004 a 2007. Valores extraídos exclusivamente para este trabalho, dos boletins de ocorrência da Polícia Rodoviária e DER.

		Número de acidentes com produtos perigosos								Resumo dos acidentes			
		2004		2005		2006		2007					
Sigla da Rodovia	Denominação da rodovia	Percentual por Rodovia		Percentual por Rodovia		Percentual por Rodovia		Percentual por Rodovia		Sigla da Rodovia	Total de Acidentes por Rodovia	Percentual por Rodovia	Média anual Absoluta
		nº Absolutos	%	nº Absolutos	%	nº Absolutos	%	nº Absolutos	%				
	<b>Total</b>	<b>273</b>	<b>100,00</b>	<b>113</b>	<b>100,00</b>	<b>69</b>	<b>100,00</b>	<b>109</b>	<b>100,00</b>		<b>564</b>	<b>100,00</b>	
SP 330	VIA ANHANGUERA	42	15,38	19	16,81	12	17,39	20	18,35	SP 330	93	16,49	23,3
SP 348	Rod. DOS BANDEIRANTES	33	12,09	8	7,08	4	5,80	7	6,42	SP 348	52	9,22	13,0
SP 310	WASHINGTON LUIS	17	6,23	12	10,62	9	13,04	10	9,17	SP 310	48	8,51	12,0
SP 332	Pres. TANCREDO DE ALMEIDA NEVES	22	8,06	8	7,08		0,00	4	3,67	SP 332	34	6,03	8,5
SP 280	Pres. CASTELLO BRANCO	9	3,30	6	5,31	4	5,80	7	6,42	SP 280	26	4,61	6,5
SP 300	DOM GABRIEL PAULINO BUENO COUTO	11	4,03	6	5,31	2	2,90	6	5,50	SP 300	25	4,43	6,3
SP 065	DOM PEDRO I	14	5,13	6	5,31	5	7,25		0,00	SP 065	25	4,43	6,3
SP 270	RAPOSO TAVARES	13	4,76	3	2,65	3	4,35	5	4,59	SP 270	24	4,26	6,0
SP 150	VIA ANCHIETA	9	3,30	5	4,42	3	4,35	5	4,59	SP 150	22	3,90	5,5
SP 055	Pe. MANOEL DA NÓBREGA	9	3,30	2	1,77	2	2,90	9	8,26	SP 055	22	3,90	5,5
SP 225	Eng. PAULO NILO ROMANO	5	1,83	4	3,54	2	2,90	5	4,59	SP 225	16	2,84	4,0
SP 055	Côn.º DOMENICO RANGONI	6	2,20	2	1,77		0,00	4	3,67	SP 055	12	2,13	3,0
SP 253	Dep. CUNHA BUENO	5	1,83	5	4,42		0,00	2	1,83	SP 253	12	2,13	3,0
SP 160	Rod. DOS IMIGRANTES	11	4,03		0,00		0,00		0,00	SP 160	11	1,95	2,8
SP 133	SEM NOME PRÓPRIO	7	2,56	2	1,77		0,00		0,00	SP 133	9	1,60	2,3
SP 340	Gov. ADHEMAR PEREIRA DE BARROS	4	1,47		0,00	4	5,80		0,00	SP 340	8	1,42	2,0
SP 021	Gov. MARIO COVAS	4	1,47		0,00	2	2,90		0,00	SP 021	6	1,06	1,5
SP 308	Rod. DO AÇÚCAR MÁRIO DEDINI	5	1,83		0,00		0,00		0,00	SP 308	5	0,89	1,3
SP 147	Dep. LAÉRCIO CORTE		0,00		0,00	2	2,90	2	1,83	SP 147	4	0,71	1,0
SP 425	ASSIS CHATEAUBRIAND		0,00		0,00		0,00	3	2,75	SP 425	3	0,53	0,8
SP 326	Brg. FARIA LIMA		0,00	3	2,65		0,00		0,00	SP 326	3	0,53	0,8
SP 075	SANTOS DUMONT		0,00	3	2,65		0,00		0,00	SP 075	3	0,53	0,8
SP 070	AYRTON SENNA DA SILVA		0,00		0,00		0,00	3	2,75	SP 070	3	0,53	0,8
SP 360	JOÃO CERESER		0,00	2	1,77		0,00		0,00	SP 360	2	0,35	0,5
SP 304	LUIZ DE QUEIROZ		0,00		0,00	2	2,90		0,00	SP 304	2	0,35	0,5
SP 101	Jnr. FRANCISCO AGUIRRE PROENÇA		0,00	2	1,77		0,00		0,00	SP 101	2	0,35	0,5
SP 031	ÍNDIO TIBIRIÇÁ		0,00		0,00	2	2,90		0,00	SP 031	2	0,35	0,5
	Outras	47	17,22	15	13,27	11	15,94	17	15,60	Outras	90	15,96	22,5

Fonte – Adaptado de Araujo e Marchini, 2009

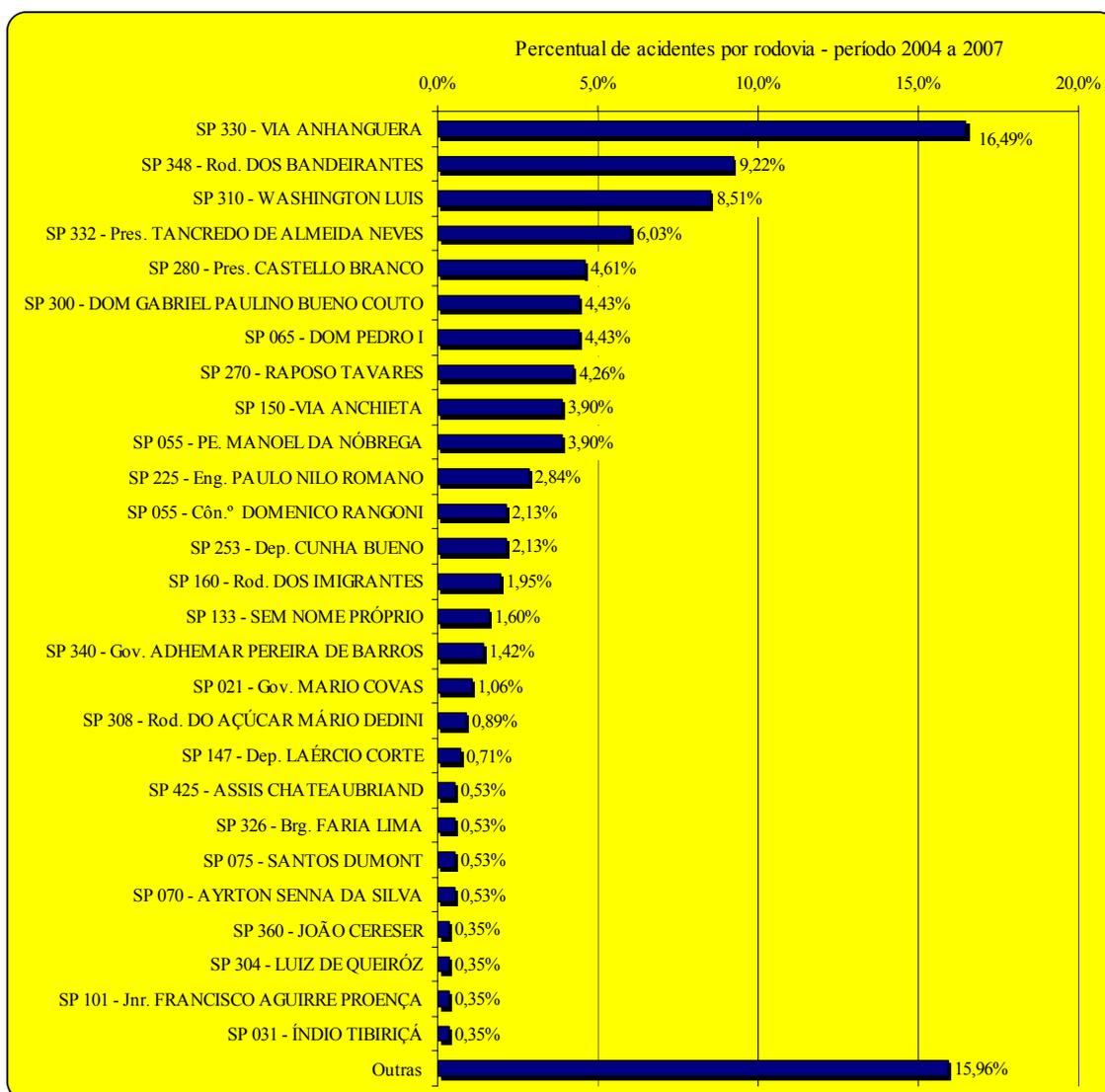


FIGURA 1 – Distribuição percentual de acidentes, por rodovia com transporte de produtos perigosos, no Estado de São Paulo. Período 2004 – 2007. Representação gráfica da TAB. 1. Fonte – Adaptado de Araujo e Marchini, 2009

## 1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho foi avaliar os mais recentes processos de análise de riscos decorrentes do transporte rodoviário de materiais perigosos aplicá-los a realidade das estradas do Estado de São Paulo e introduzir **duas novas variáveis em metodologia já utilizada para cálculo de risco**.

A introdução de duas novas variáveis no modelo, que pondera o risco em relação à **idade do condutor e a zona de impacto conforme o período do dia em que o transporte é realizado e o volume do produto transportado** tornará o valor final do

risco calculado mais sensível. A extensão dessas inclusões na metodologia foi explorada, a fim de encontrar as suas vantagens e desvantagens.

A avaliação de rotas propostas pelos modelos levou à análise e à reavaliação dos modelos disponíveis, adotados em diversas regiões dos EUA e na Europa.

## 1.2 Estrutura do Trabalho

Esse trabalho, além do capítulo introdutório, apresenta mais cinco capítulos:

**Colocação do Problema**

**Metodologias Atualmente Disponíveis**

**Técnica Adotada para Avaliação e Gerenciamento de Riscos**

**Estudo de Caso**

**Discussão e Conclusão**

No capítulo dois é apresentado um cenário dos acidentes ocorridos nas rodovias do Estado de São Paulo, com dados obtidos de várias fontes. Cada metodologia de avaliação de riscos enfoca os dados que exigem as suas aplicações no país de origem contrapondo com os dados disponíveis no Brasil.

O capítulo três descreve de maneira resumida as metodologias atualmente disponíveis sobre a avaliação de riscos no transporte de produtos perigosos.

O capítulo quatro foi destinado a:

(a) Sugerir uma técnica para o gerenciamento de risco, atualizada conforme a realidade atual, com propósito de minimizá-lo ou eliminá-lo, antes da utilização de uma metodologia que o avalie;

(b) Desenvolver e aplicar uma metodologia para avaliação de risco;

(c) Estudar a incorporação da **variável largura de faixa de impacto considerando o período (diurno ou noturno) em que o transporte está sendo feito.**

Variável esta que compõe a metodologia original citada no item (b) para uma situação real;

(d) Estudar incorporação **da variável faixa etária do condutor.**

No capítulo cinco foi feita uma aplicação da metodologia escolhida para

desenvolver este trabalho (citada no capítulo quatro) para duas rodovias importantes do Estado de São Paulo. Foram comparados os efeitos da adaptação da **variável largura de faixa de impacto** em relação ao período do dia (diurno ou noturno), **volume do produto, transportado** (conforme valores publicados pelo PHMSA (2008) e **faixa etária do condutor** com o valor do risco em um determinado trecho de uma rota selecionada.

O capítulo seis destinou-se à apresentação das conclusões sobre o assunto pesquisado e a análise da influência da utilização de uma zona de impacto sobre o risco. Além disso, são apontadas algumas possibilidades de pesquisas, dando a continuidade ao estudo de metodologias conforme a realidade brasileira, no que tange a seleção de rotas do transporte de produtos perigosos.

Para trabalhos futuros, há de se considerar a correlação entre número de acidentes e o dia da semana e o mês, item este que será abordado no capítulo sei

## **2 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA**

Neste capítulo aborda-se o assunto relativo aos acidentes com transporte de produtos perigosos nos EUA, na Suíça e no Brasil, diante das principais estratégias adotadas para a redução das consequências.

Em relação ao Brasil, serão consideradas as experiências realizadas nos Estados de Santa Catarina, Paraná, Pernambuco, São Paulo e as dificuldades existentes na obtenção de dados relativos a esses acidentes. Também serão desenvolvidas pesquisas relativas à promoção de ações que previnam os acidentes, assim como as suas consequências.

### **2.1 Acidentes com produtos perigosos nos EUA**

Para atender às exigências da Lei Federal de Transporte de Produtos Perigosos em 1971, o *Research and Special Programs Administration – RSPA – Department of Transportation – DOT* – estabeleceu o Sistema de Informações para Produtos Perigosos, *Hazardous Materials Information System – HMIS*. Esse sistema é a principal fonte de dados relativos ao transporte e manuseio de substâncias perigosas nos EUA. Esse banco de dados contém: informações claras sobre acidentes, métodos e formas de aprovações para transporte e manuseio, relatórios de ações e esforços e outros elementos que dão suporte ao programa regulatório desses processos. O propósito do programa de Transporte de Produtos Perigosos é identificar e gerenciar os riscos durante o transporte de produtos perigosos. Sendo de suprema importância a segurança para o DOT, ele envolve o público, a indústria e todas as partes que compõem os canais de distribuição, interessados em determinar níveis de riscos aceitáveis, comparando com outros riscos inerentes existentes na sociedade moderna. O programa também contempla o treinamento do condutor e as formas pelas quais ocorrem os acidentes assim como os meios para evitá-los (DOT, 2008). Na TAB. 2 é mostrado a evolução do número de acidentes ocorridos no período de 1998

até 2007 e contribui para justificar a pesquisa desse importante trabalho sobre os acidentes que ocorrem nas rodovias durante o transporte de produtos perigosos.

TABELA 2 – Acidentes no transporte de produtos perigosos que ocasionaram algum dano à pessoa nos EUA.

Modo de Transporte	Acidentes com produtos perigosos nos EUA										Total	Percentual %
	Ano da ocorrência											
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007		
Aéreo	25	18	35	37	15	13	6	18	17	14	<b>198</b>	3,89
Rodoviário	356	447	449	488	377	399	400	423	401	390	<b>4130</b>	81,19
Ferrovário	72	68	83	63	71	58	82	85	76	81	<b>739</b>	14,53
Hidroviário	4	0	2	1	3	2	4	2	1	1	<b>20</b>	0,39
<b>Totais</b>	<b>457</b>	<b>533</b>	<b>569</b>	<b>589</b>	<b>466</b>	<b>472</b>	<b>492</b>	<b>528</b>	<b>495</b>	<b>486</b>	<b>5087</b>	

Fonte – DOT, 2008.

Segundo o, “*Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration's*” (PHMSA) – atualmente existem leis para regular e gerenciar riscos associados ao transporte de produtos perigosos em todo o mundo. O DOT (2008) promove continuamente esforços para identificar e gerenciar os riscos em potencial, a probabilidade de ocorrência de acidentes no transporte, assim como as suas consequências. O Programa de Gerenciamento de Riscos, do DOT, abrange os diversos meios de transporte – aéreo, marítimo, fluvial, rodoviário, ferroviário, via dutos, envolvendo e um grande número de produtos perigosos, como químicos, radioativos, materiais infectantes, além de fabricantes e formas de embalagem. Informações sobre vazamentos não intencionais de produtos perigosos são sistematicamente coletadas e analisadas, suas probabilidades de ocorrência são calculadas, assim como as consequências. Esse estudo determina os níveis de riscos e a proteção necessária, cria programa de gerenciamento de riscos a um custo razoável à sociedade

Na TAB. 3 são descritos o número de acidentes ocorridos no ano de 2008 durante do transporte de produtos perigosos.

Para identificar e gerenciar os riscos em potencial, o DOT publicou dados que demonstrassem os valores percentuais de ocorrências dos vários fatores que contribuíram para acidentes com produtos perigosos durante o transporte rodoviário. Na TAB. 3 são mostradas as percentagens relativas entre os diversos fatores que contribuíram para

ocorrência dos acidentes, nas quais se pode notar que o fator humano contribuiu no total de 22,56% (DOT, 2008).

TABELA 3 – Acidentes ocorridos nos EUA, ano 2008, durante o transporte de produtos perigosos realizados por meio de rodovias – causas vs. o número de acidentes. Os itens destacados indicam o quanto o ser humano influencia na ocorrência do acidente

Item	Causa do acidente	Número de acidentes	Número percentual de acidentes em relação ao total de ocorrências
<b>1</b>	<b>Erro humano</b>	<b>2293</b>	<b>15,59</b>
2	Preparo inadequado para o transporte	1968	13,38
3	Queda da carga	1865	12,68
4	Perda de dispositivo ou componente (que condiciona a carga)	1683	11,44
5	Acidente com empilhadeira ou braço mecânico	1283	8,72
6	Componente ou dispositivo com defeito	1086	7,38
7	Impacto com objeto perfurante	902	6,13
<b>8</b>	<b>Amarração da carga inadequada</b>	<b>900</b>	<b>6,12</b>
9	Causas não relatadas	588	4,00
10	Excesso de peso - ou volume	541	3,68
11	Abertura de válvula	211	1,43
12	Quebra de componente ou dispositivo	210	1,43
13	Deterioramento por envelhecimento	208	1,41
14	Excesso de carga - líquida	190	1,29
15	Proteção inadequada contra danos	167	1,14
<b>16</b>	<b>Procedimentos inadequados</b>	<b>104</b>	<b>0,71</b>
17	Dano causado após colisão com outro veículo	96	0,65
18	Capotamento	75	0,51
19	Material ou meio de transporte inadequado	61	0,41
20	Excesso de pressão - gases	49	0,33
21	Corrosão interna	46	0,31
22	Dispositivos ou componentes desalinhados	33	0,22
23	Corrosão externa	25	0,17
24	Congelamento	23	0,16
<b>25</b>	<b>Treinamento inadequado</b>	<b>20</b>	<b>0,14</b>
26	Fogo ou alta temperatura	16	0,11
27	Manutenção inadequada	12	0,08
28	Abrasão	11	0,07
29	Suportes tirantes desgastados	11	0,07
30	Carga com auto ignição	7	0,05
31	Danos pela contaminação com água	7	0,05
32	Dispositivos ou componentes com dimensões inadequadas	6	0,04
33	Incompatibilidade entre produtos	6	0,04
34	Derramamento da carga	3	0,02
35	Vandalismo	2	0,01
36	Polimerização do produto	1	0,01
37	Separação do carro tanque do cavalo	1	0,01
<b>Total</b>		<b>14710</b>	

Fonte – DOT, 2008

Segundo Pijawka *et al.* (1985), o transporte de produtos perigosos está em

crescimento e como consequência o aumento do número de acidentes que envolvem tais produtos e os danos provenientes de tais acontecimentos. Nesse artigo, Pijawka *et al.* (1985) sugerem um modelo que gerencia a redução do risco ou mitigação deste, justificando que essas ocorrências se dão pela vulnerabilidade e acondicionamento do produto perigoso transportado.

Referindo-se ao Estado do Arizona, nos EUA, Pijawka *et al.* (1985) citam que, pela avaliação de embarque de materiais perigosos ao longo das maiores rotas, permitiu-se obter aproximações comparativas, que trouxeram algumas considerações. A avaliação pressupôs tipo e volume do fluxo, os quais foram determinados a partir do volume de caminhões comerciais, permitindo uma análise dos acidentes com transporte de produtos perigosos, resultando dessa forma, no valor da probabilidade de acidentes por rotas individuais. O aumento da consciência de acidentes com materiais perigosos e o potencial de consequências catastróficas têm liderado formas de mitigar o risco e implantar o planejamento no transporte desse tipo de carga.

O fator vulnerabilidade foi relacionado com os fatores risco e planejamento. Como consequência, a redução da vulnerabilidade implica na expansão do planejamento e na redução do risco.

Scalon e Cantille (1985) referem-se à Avaliação do Risco e Segurança no Transporte de Produtos Perigosos, como um item grande e complexo, mal gerido pelo governo por meio de uma grande quantidade de medidas administrativas e executivas, em que as aplicações de metodologias de avaliação de risco são as melhores formas de ajudar a comunidade a minimizar e a se posicionar na percepção relativa ao produto perigoso a que está exposta. Concluem que métodos de avaliações absolutas de risco e segurança devem ser desenvolvidos para que haja aceitação e uso dos usuários comuns, enquanto os métodos absolutos e relativos teóricos não são cabíveis de entendimento e de utilização prática dos que se utilizam das rotas de transporte de cargas perigosas.

Embora existam metodologias de avaliação absolutas que norteiam algumas gestões, estas não são suficientes para evitar acidentes e as suas consequências. Scalon e Cantille (1985) ressaltam a necessidade de minimizar a vulnerabilidade da população exposta, aumentando o grau de “**preparação**” em face de um possível acidente

minimizando a exposição ao risco.

Sacomanno e Chan (1985) afirmaram que o potencial de risco de derramamento de produtos perigosos, quando transportados, pode ser reduzido “escolhendo” rotas mais seguras. Vários critérios para a escolha de tais rotas podem ser adotados, tendo como consequência uma ampla gama de resultados. Três estratégias foram sugeridas; a **minimização do risco**, a **mínima probabilidade de acidente**, e o **menor custo operacional para um caminhão**. Cada estratégia de roteamento foi aplicada a uma malha rodoviária nas quais acidentes com caminhões são frequentes.

Rotas seguras devem ser analisadas para um custo efetivo e para uma grande variedade de condições ambientais. Dois importantes aspectos são emergentes desta análise de custo efetivo: **(a) na estratégia de um roteamento, a minimização do risco produz uma melhora na segurança e uma série de ganhos econômicos, (b) uma significativa negociação ocorre entre o custo de operação de um caminhão e benefícios com a segurança**. Essa negociação é uma preocupação fundamental para a implantação desse tipo de melhora na estratégia de transporte de materiais perigosos.

Sacomanno e Chan (1985) concluíram que o transporte seguro de materiais perigosos em grandes áreas urbanas pode ser melhorado pela adoção de estratégias de roteamento. O projeto de roteamento deve ser sensível às influências das variações ambientais. Essas influências podem variar ao longo do tempo e para diferentes locais da malha rodoviária. Uma estratégia de roteamento de mínimo risco pode reduzir o potencial de danos associados ao derramamento de produtos perigosos e pode produzir uma série de ganhos econômicos à sociedade. As rotas de risco mínimo são claramente o melhor custo efetivo e o meio de restringir o envio de produtos perigosos pelas malhas rodoviárias urbanas.

Os custos com a prevenção de um acidente não são significantes, quando comparados com despesas operacionais ou exposição ao risco (Sacomanno e Chan, 1985).

Harwood *et al.* (1990) afirmaram que a estimativa de acidente e a taxa de vazamento são essenciais no estudo do roteamento de rodovias para o transporte de produtos perigosos. Eles enfatizam a importância da **avaliação do risco e de atalhos para**

**obtenção de dados.** Novas taxas de acidentes têm sido calculadas a partir da combinação de dados obtidos de órgãos federais e estaduais. Essas taxas foram desenvolvidas em função do tipo de rodovia, tipo de área (urbana ou rural), configuração da rodovia, volume de tráfego, número de acidentes e a probabilidade de vazamentos.

O U. S. Department of Transportation - D.O.T (1999) emitiu uma guia para a utilização de um modelo de cálculo para substituir a falta de dados da probabilidade de acidente e das taxas de vazamento para o transporte de produtos perigosos. Testes estatísticos, baseados nas distribuições Qui-Quadrado e Poisson foram utilizados para avaliar se os dados obtidos sobre as taxas de acidentes de uma área específica são válidos.

Uma parte das probabilidades das diretrizes de roteamento sobre o transporte de produtos perigosos, emitida pelo DOT (1999), no que diz respeito a vazamento destes produtos pode ser aplicada a uma situação real. A equação fornecida é recomendada para a determinação da probabilidade relativa de um vazamento de materiais, para uma determinada remessa em um segmento particular de rota. Os elementos-chaves na revisão das diretrizes foram:

- (a) **A taxa de acidentes com caminhões;**
- (b) **A probabilidade de vazamento dado a ocorrência de um acidente.**

Mais recentemente, Dadkar *et al.* (2008) observaram em suas pesquisas que o transporte de produtos perigosos causa apreensão à comunidade quanto ao risco a que está exposta, gerando uma especial preocupação dos transportadores de tais produtos em relação a tal sensação de insegurança da população. Para diminuir essa sensação, os transportadores estão adotando técnicas de gerenciamento de risco, entre elas metodologias para escolha de rotas mais seguras.

Para a determinação de rotas mais seguras, Dadkar *et al.* (2008) desenvolveram um algoritmo que avalia a exposição das populações nas margens das rodovias, vinculado a um índice estatístico de desempenho da rodovia ao longo do tempo.

## **2.2 Acidentes com produtos perigosos na Suíça**

Nicolet-Monnier e Gheorghe (1996), quando se referiam ao parque industrial

da Suíça, afirmavam que o desenvolvimento industrial é essencial a um bom padrão de vida para todos os países. Numa mesma região, novas e antigas plantas industriais devem coexistir, assim como os seus processos e tecnologias (de manuseio, transporte e fabricação, descarte final). Embora a melhora contínua de um produto seja essencial para a conquista de mercado, ela em si não é suficiente, esse produto deve ser fabricado e manuseado de uma forma ecologicamente correta. Assim, deve estar incluso nessa melhora o manuseio dos rejeitos e substâncias perigosas, os quais fazem parte desse processo. Com essa política de melhora contínua é inevitável que os níveis de segurança sistematicamente sejam aumentados, tendo como consequência um número de acidentes cada vez menor. Tal qual a política de “zero defeito” é almejada pela empresa, também há uma meta de “zero acidente”. Ações proativas para evitar o erro humano e falhas no sistema fazem parte da política de gerenciamento do risco de acidente e, dentro dessas ações, estão contidas as avaliações qualitativas e quantitativas de risco.

Tal qual em outros países, na Suíça, o *Federal Office for the Environment* – FOEN é o órgão do governo federal responsável em assegurar que os recursos naturais sejam utilizados de forma sustentável, que a população fique protegida dos perigos naturais, e que o meio ambiente seja protegido contra os impactos diversos. (FOEN, 2009).

Conforme Nicolet-Monnier e Gheorghe (1996), o *Federal Office for the Environment* – FOEN adota metodologia para avaliação de riscos para o transporte de produtos perigosos para rodovias e ferrovias, atendendo a uma de suas metas, que é a de preservar o meio ambiente e proteger a população. Segundo esses pesquisadores essa metodologia, utilizada pelo FOEN, para a avaliação dos riscos pode ser aplicada em outros países, com pequenas alterações nos coeficientes utilizados nas equações. Esses coeficientes deverão ser ajustados conforme os dados estatísticos de acidentes de cada país.

Para a análise de risco durante o transporte de produtos perigosos, em rodovias, Nicolet-Monnier e Gheorghe (1996) consideram três principais elementos:

a) O risco do transporte propriamente dito e os coeficientes de segurança para utilização do local por onde a rodovia passa. Isso inclui as propriedades de contaminação do produto, o meio ambiente e o ecossistema. Esses itens são considerados como fatores de risco;

b) A quantidade provável de veículos existentes na rota, incluindo possíveis

congestionamentos, o nível de serviços oferecidos na rota (de assistência ao usuário e socorro médico), a taxa de acidentes e as condições da rota (condições da pista e sua sinalização);

c) Considerações econômicas relativas ao transporte, tais como tempo de viagem, congestionamentos e rotas alternativas.

Uma integração entre segurança adequada, para uma determinada rota para transporte de produtos perigosos ou de rotas alternativas possíveis são os elementos necessários para a quantificação e ponderação entre os coeficientes citados.

### **2.3 Acidentes com produtos perigosos no Brasil**

No Brasil, os produtos perigosos também são transportados em diversos modais, ou seja, rodoviário, ferroviário, marítimo, fluvial e por dutos. No entanto, a grande maioria é transportada por rodovia, decorrente do modelo de transporte adotado no País. O Departamento Nacional Estradas de Rodagem – DNER, sendo o órgão responsável pelas estradas em todo o território nacional brasileiro, expressa sua preocupação sobre o assunto: “Devido às suas características exclusivas, traduzidas, sobretudo no alto risco a que sujeite as pessoas, a infraestrutura e o meio ambiente, o transporte rodoviário de produtos ditos perigosos (combustíveis, lubrificantes, explosivos, defensivos agrícolas, produtos radioativos, entre outros) sempre foi motivo de preocupação por parte dos órgãos governamentais” (DNER, 2002).

Decorrente das metas a ser atingidas da redução de acidentes, das suas consequências e no âmbito da atuação federal, o DNER (2002) publicou “Instruções para a Fiscalização do Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos no Âmbito Nacional”. Simultaneamente foi instituída uma forte campanha para a população com a publicação de dados estatísticos e de fotos sobre acidentes com produtos perigosos e as suas consequências, como mostrado na Fig. 2 (DNER, 2002).

O DNER (2002) aponta o condutor como o principal componente a ser ponderado em um acidente, pois é ele que tem o contato direto com a carga, o veículo e a estrada. Sendo o condutor o elo mais importante das variáveis que envolvem o acidente, a

ele (condutor), deve ser dispensada uma maior atenção, proporcionando um maior número de informações e treinamento.



FIGURA 2 - Exemplo de acidente com produto perigoso.  
Fonte - DNER, 2002

Atualmente, as ações tomadas antes pelo DNER são de responsabilidade do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, órgão ligado ao Ministério dos Transportes.

Com dados obtidos da Polícia Rodoviária Federal, Ferreira (2003) afirma que os acidentes com produtos perigosos ocorridos durante o transporte são causados por erros cometidos pelo condutor (44,3% do total dos acidentes), seguido da categoria outros (23,61%), falhas com o veículo (21,83%) e condições da via (3,71%). No mesmo banco de dados, a Polícia Rodoviária Federal dá mais ênfase aos erros do condutor, especificando a falta de atenção, o excesso de velocidade e a desobediência à sinalização como os principais fatores que contribuem para o acidente.

Nos Estados de Santa Catarina, Paraná, Rio de Janeiro, Pernambuco e Rio Grande do Sul, existem ações para a prevenção e o atendimento aos eventos relativos ao transporte e manuseio de produtos perigosos, porém, esses Estados não têm banco de dados disponibilizados que contenham estatísticas sobre acidentes ocorridos com produtos perigosos.

O Estado de São Paulo é a única unidade federativa que tem o mais completo banco de dados sobre essa temática. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB disponibiliza tais dados ao público pela rede mundial de computadores

<http://www.cetesb.sp.gov.br>.

Segundo a CETESB, o Estado de São Paulo movimenta uma grande quantidade de produtos químicos perigosos. Sendo um grande centro produtor e consumidor, o Estado serve de elo entre outros importantes pólos industriais do Brasil, como Camaçari na Bahia e Triunfo no Rio Grande do Sul. Atualmente, as suas rodovias atendem a 93,3% do transporte de cargas no Estado, seguida do transporte ferroviário (5,2%) e hidrovias (0,4 %). Os dutos-via são responsáveis por 0,8 % de escoamento de produtos e as aerovias em torno de 0,3% (CETESB, 2009).

Conforme levantamento efetuado pela CETESB (2009), o Estado de São Paulo tem uma frota de veículos pesados, segundo inventário realizado no fim de 2002, de 1.255.359 caminhões, 2.234.932 caminhonetes, 304.976 veículos reboques e 139.167 semirreboques. São Paulo e os Estados da Região Sul do País compreendem a maior frota de motoristas autônomos e de empresas, perfazendo cerca de quatro milhões de veículos. Os veículos que circulam no Estado de São Paulo utilizam 1.732 quilômetros de rodovias sob a jurisdição da Polícia Rodoviária Federal, das rodovias em regime de concessão 3.397 quilômetros sob a responsabilidade das concessionárias, 357 quilômetros sob o controle da empresa Desenvolvimento Rodoviário SA – DERSA e 18.000 quilômetros sob a jurisdição da Polícia Rodoviária Estadual. Por essas rodovias circulam mais de 5.000 produtos perigosos, entre eles, líquidos inflamáveis, explosivos, gases, materiais radioativos e muitos outros.

Assim, como outros órgãos interessados na segurança das comunidades e do meio ambiente e para sensibilizar do público da importância do acidente com produtos perigosos, a CETESB retrata as consequências imediatas do vazamento de substância perigosa, neste caso ácido sulfúrico. Na representação fotográfica da FIG. 3, pode-se notar a agressão superficial da região atingida pelo produto, não podendo ser contabilizadas, de imediato, outras consequências, tais como a contaminação do subsolo, do ar e danos à fauna e à flora local e a comunidade existentes as margens da rodovia (CETESB, 2009).

O crescente número de acidentes rodoviários durante o transporte de produtos perigosos no Estado de São Paulo vem preocupando consideravelmente as autoridades governamentais e demais segmentos envolvidos (CETESB, 2009). Isso como consequência

de que os mesmos circulam por áreas densamente povoadas e em regiões que apresentam um sistema natural vulnerável, agravando assim os impactos causados à biota.



FIGURA 3 – Exemplo de acidente ocorrido em 1º de janeiro de 1997, com vazamento de ácido sulfúrico.

Fonte – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, 2006

Para identificar os locais onde ocorrem acidentes com produtos perigosos com mais frequência, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2009) elaborou um levantamento onde foram observados o tipo de atividade e a distribuição percentual de acidentes (FIG. 4). Neste estudo constata-se que o maior índice de acidentes com produtos perigosos ocorreu durante a operação de transporte, perfazendo 48,8% do total e a forma de transporte que mais gerou acidentes foi o transporte rodoviário com 40,4% dos casos.

Considerando que as origens e destinos desses produtos perigosos são as fábricas e que os usuários finais na maioria das vezes estão separados por grandes distâncias, as rotas que interligam tais pontos são os fatores mais importantes nesses estudos, pois são constituídas por rodovias e vias urbanas, pelas quais são transportadas essas substâncias perigosas e onde podem ocorrer acidentes.

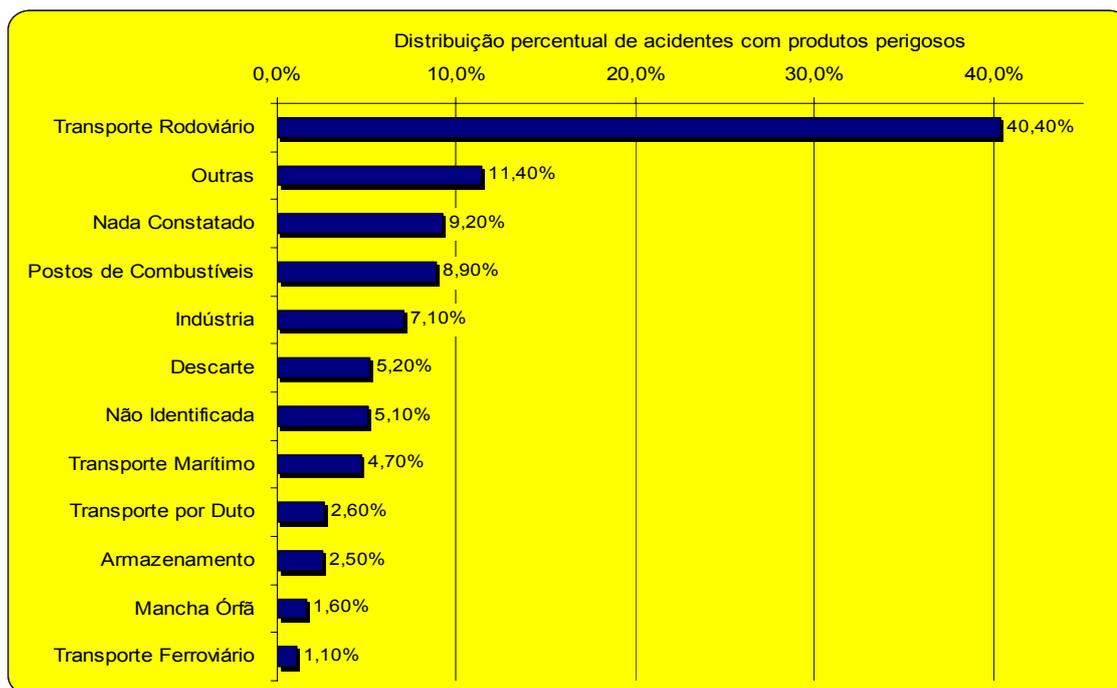


FIGURA 4 – Percentual de acidentes com produtos perigosos por atividade ocorridos no Estado de São Paulo. Período 1978 – 2008.

Nota: o indicado como **Nada Constatado** indica que não houve vazamento do produto.  
Fonte – (CETESB, 2009).

Na FIG. 5 é mostrada a distribuição porcentual entre os acidentes com produtos perigosos e os diversos meios de transporte, constatando-se que a maioria ocorre nas rodovias, 78,28% (CETESB, 2009).

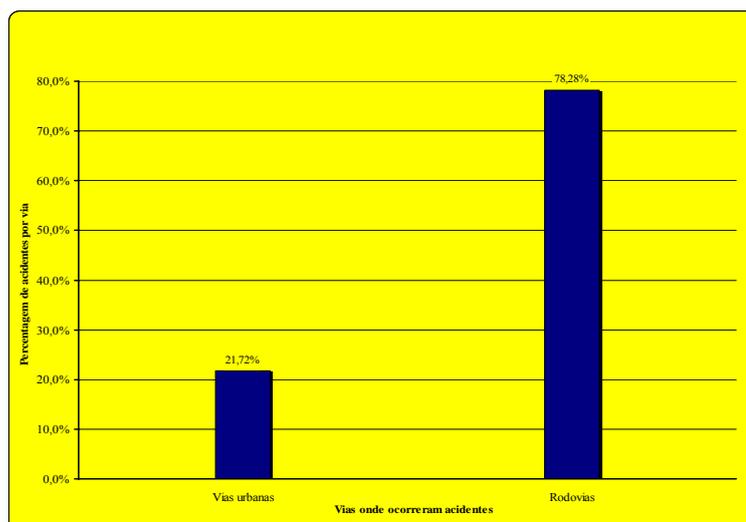


FIGURA 5 – Distribuição percentual de acidentes com produtos perigosos ocorridos durante o transporte no Estado de São Paulo. Período 1983 – 2008.

Fonte – CETESB, 2009.

Uma das metas de suma importância, além da preservação da saúde humana é a preservação do meio ambiente com ações preventivas e mitigativas. No que tange a acidentes rodoviários pode ser observado na FIG. 6 mostra em que proporção cada acidente atingiu o ecossistema. Contudo, não são quantificados os danos diretos causados ao ser humano e à propriedade.

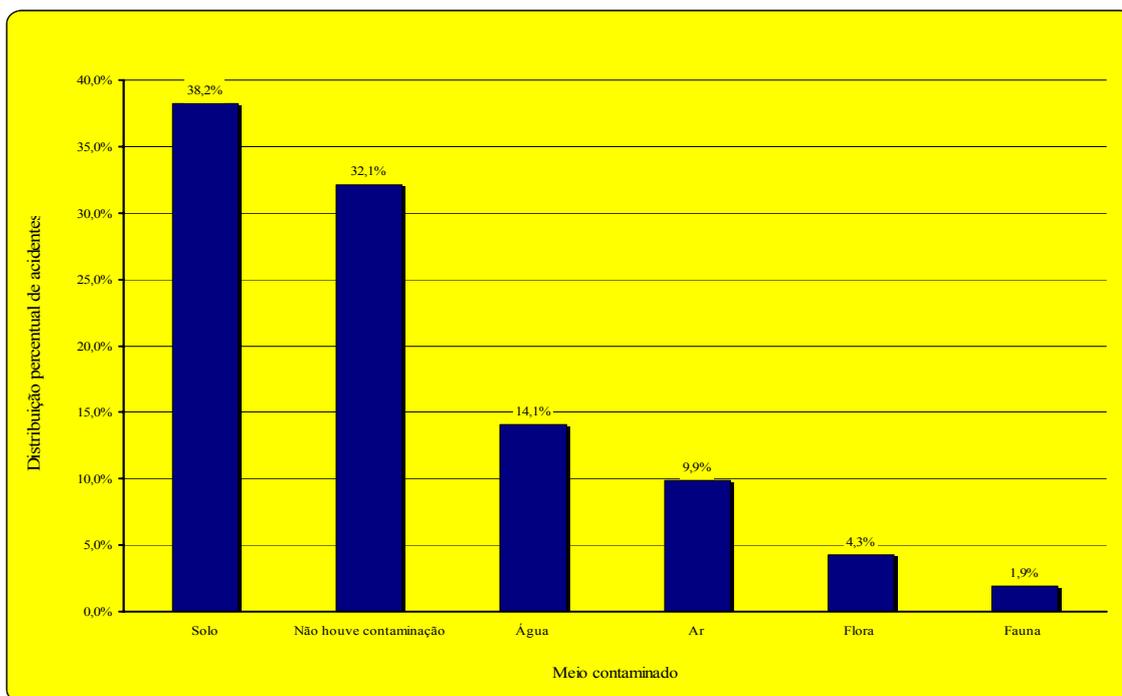


FIGURA 6 – Distribuição percentual de acidentes no transporte de produtos perigosos no Estado de São Paulo em que houve contaminação. Período 1983 – 2008.

Fonte – CETESB, 2009.

A Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM (2009), entidade que tem como associados indústrias químicas de pequeno, médio e grande porte, transportadoras e operadoras logísticas que prestam serviços ao setor, promove programa de prevenção de acidentes. Ela afirma que, durante o século XX o mundo foi marcado por diversos acidentes de grande impacto envolvendo indústrias, processos de fabricação, manuseio e distribuição. Esses acidentes resultaram na eliminação de negócios e na reestruturação de empresas. Um único acidente com produto químico pode gerar a perda de vidas e causar um forte impacto sobre o meio ambiente, exigindo décadas para a sua recuperação. O grande desafio do século XXI consiste em definir como as organizações industriais irão garantir a sustentabilidade de seus negócios e de um sistema de gerenciamento de riscos, que leve as organizações a uma condição ideal próxima ao “nível

zero em acidentes”.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM (2009), os acidentes no transporte rodoviário podem ter diferentes causas, singulares ou combinadas, tais como:

- Problemas tecnológicos, como unidades de transporte sem manutenção adequada ou muito velha;
- Problemas de infraestrutura, tais como rodovias mal sinalizadas, mal conservadas ou com falhas estruturais de pavimentação;
- Problemas com procedimentos e regulamentações, como aplicação inadequada das legislações e dos procedimentos de gestão;
- Problemas de falhas humanas, como comportamentos inadequados levando a riscos desnecessários por diferentes motivos, incluindo a falta de treinamento ou falta de profissionalismo.

O comportamento humano é apontado como o item mais crítico para a diminuição de riscos de acidentes, exigindo sistemas de análise sobre como os funcionários desempenham suas tarefas.

O monitoramento constante nas rodovias do Estado de São Paulo feito pela Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo, em conjunto com Instituto de Pesos e Medidas – IPEM constatou irregularidades em 30% dos caminhões fiscalizados cruzando a cidade com produtos perigosos, como ácidos, agroquímicos e explosivos. Dos 2.200 veículos fiscalizados em 2008, 720 tinham algum tipo de problema que poderia causar vazamentos ou acidentes. Os caminhões vistoriados são uma pequena fração dos 10 mil que circulam por dia pela capital paulista – por ano, são 3,5 milhões de caminhões levando ácidos, combustíveis e gases tóxicos. Entre as rodovias que chegam à capital, a Anhanguera é a rodovia que está mais envolvida em acidentes com produtos perigosos. Quarenta itens relacionados à segurança são conferidos nas ações fiscalizadoras. Pelos registros do Instituto de Pesos e Medidas – IPEM, problemas nos pneus e freios e falhas nas válvulas de descarga dos caminhões fizeram com que 374 dos 720 veículos considerados irregulares tivessem a documentação apreendida. No levantamento efetuado entre 2004 e 2007 em 288.437 boletins de ocorrências de acidentes fornecidos pela Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo e DER (Araujo e Marchini, 2009), ocorreram 564 acidentes com produtos perigosos. A quantidade de pontos com corrosão que

poderiam proporcionar vazamento não foi contabilizada, pois nos boletins não havia correlação entre os pontos e o vazamento do produto. Nesse trabalho somente foi considerado acidente com produto perigoso quando houve liberação do produto para o meio ambiente.

A Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo, no decorrer do ano de 2007, realizou trabalhos de educação de trânsito ao longo das rodovias federais, em escolas e em empresas de ônibus, os quais repercutiram diretamente em mais atenção e consciência dos motoristas em relação ao trânsito (Araujo e Marchini, 2009).

O resultado do monitoramento feito no Estado de São Paulo é mostrado na FIG. 7. Segundo Araujo e Marchini (2009), a meta é a redução do número de acidentes com produtos perigosos, dando ênfase à educação do condutor.

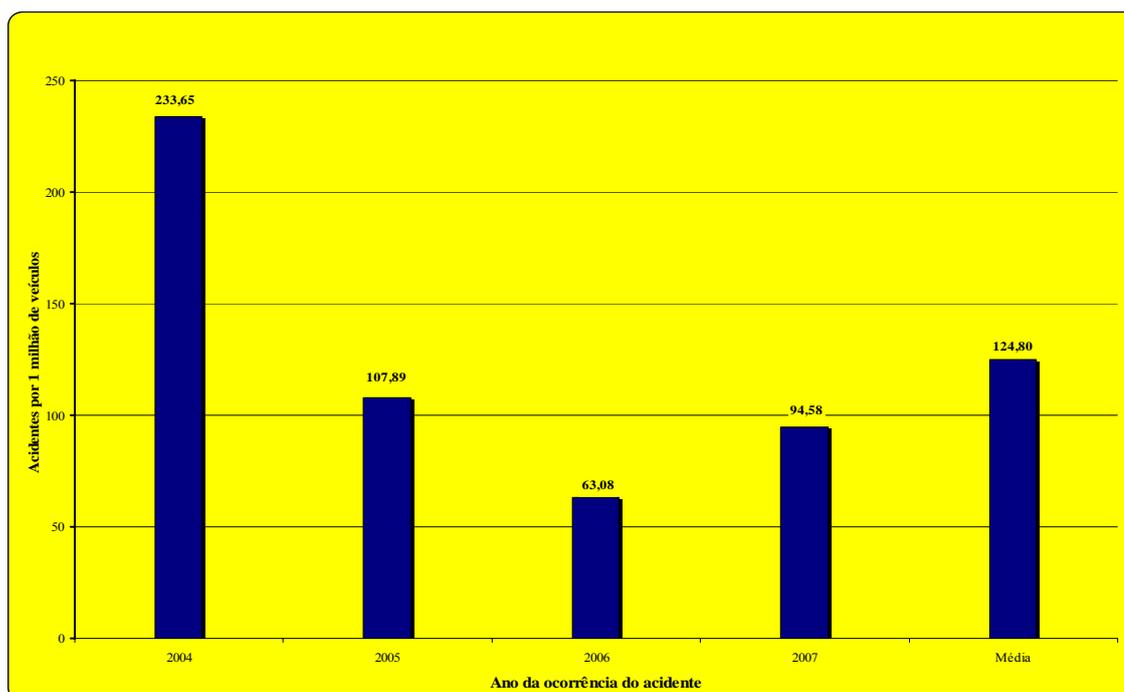


FIGURA 7 – Número de acidentes com transporte de produtos perigosos em que ocorreu vazamento do produto no Estado de São Paulo. Período 2004 – 2007. Valores extraídos exclusivamente para este trabalho, dos boletins de ocorrência da Polícia Rodoviária e DER. Fonte – Adaptado de Araujo e Marchini (2009).

Conforme Ferreira (2003), os acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos adquirem uma importância especial, uma vez que a intensidade de risco está associada à periculosidade do produto transportado. O autor define como produto perigoso, aquele que representa risco para as pessoas, à segurança pública e ao meio ambiente, ou

seja, produtos: inflamáveis, explosivos, corrosivos, tóxicos, radioativos e outros produtos químicos, que não apresentem risco iminente, porém, em caso de acidente, representam uma grave ameaça à população e ao meio ambiente. Os acidentes no transporte desses produtos podem ter consequências catastróficas, sobretudo diante da proximidade de cidades e de populações ao longo das margens das rodovias. Além das perdas humanas de valor social incalculável, os custos decorrentes da contaminação ambiental atingem cifras elevadas. Nesse sentido, o transporte rodoviário de produtos perigosos tem gerado diversos riscos ao homem e ao meio ambiente causando danos materiais, bem como à saúde e à vida.

O Comando de Policiamento Rodoviário, como segmento especializado da Polícia Militar do Estado de São Paulo, é o responsável pelo policiamento ostensivo de trânsito e pela preservação da ordem pública em toda a malha rodoviária paulista. Perfazendo um total de mais de 20.000 quilômetros de rodovias, atuam cerca de 4.000 homens e mulheres que têm o compromisso organizacional com a defesa da vida, da integridade física e da dignidade da pessoa humana. Para controlar e melhorar a segurança dos usuários das rodovias, a Polícia Militar do Estado de São Paulo coleta e elabora dados sobre os acidentes ocorridos (PMRESP, 2009). Esse trabalho compilou os dados de acidentes dos boletins de ocorrência fornecidos pela Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo e DER (Araujo e Marchini, 2009), cujo resultado é mostrado na FIG. 8.

*O U.S. Department of Transportation, DOT, por meio do US Department of Transportation Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration – PHMSA assim como a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, no Estado de São Paulo, têm a mesma ação com acidentes no transporte de produtos perigosos, coletando, compilando dados e adotando medidas para a diminuição desses. A ação da CETESB e do DOT são semelhantes conforme ser observado nas FIG. 9 e 10.*

Ramos (1997) descreve a importância do combate ao problema de acidentes com veículos que transportam produtos perigosos no Estado de Santa Catarina e a principal estratégia de encontrar rotas que ofereçam o menor risco possível à população. A metodologia utilizada por Ramos (1997) levou em consideração o volume de tráfego, o número de acidentes com veículos e a densidade demográfica. Esse estudo consolidou como importante o planejamento da prevenção dos acidentes e que estes acidentes podem

ocorrer nas diversas fases do processo: produção, transporte, transformação, utilização e disposição final do produto perigoso. Como dado de relevância e justificando o seu trabalho, Ramos (1997) cita que somente na rodovia BR-101 circulam em média 600 veículos por dia transportando produtos perigosos (Ramos, 1997).

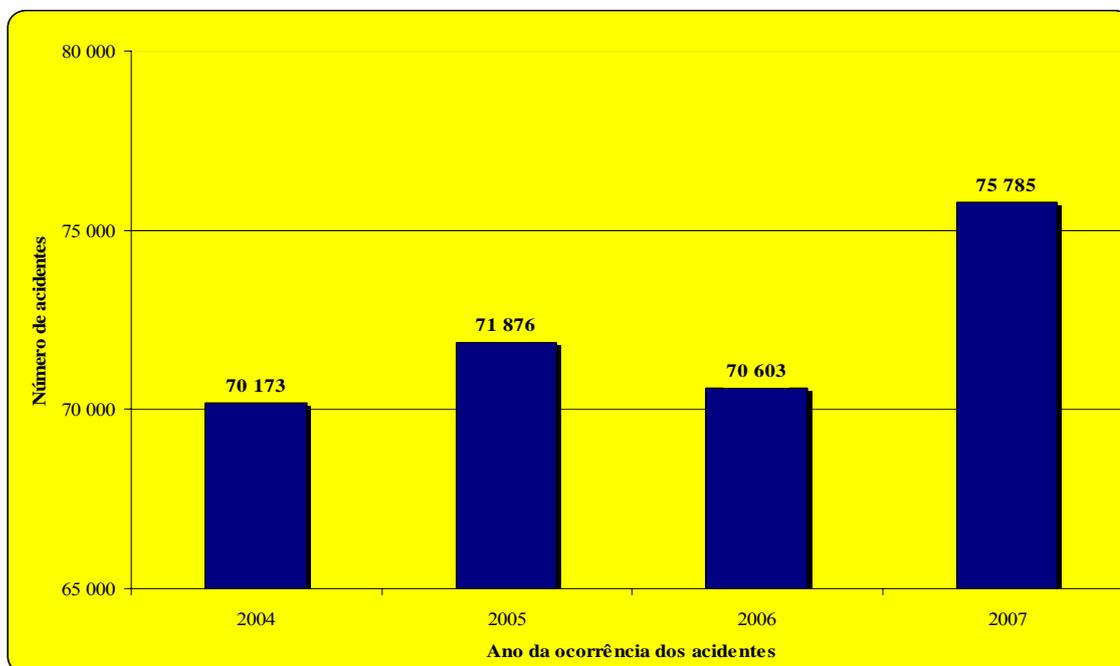


FIGURA 8 – Número total de acidentes ocorridos no Estado de São Paulo – Estão inclusos: acidentes, com automóveis, caminhões e ônibus. Valores extraídos exclusivamente para este trabalho, dos boletins de ocorrência da Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo. Fonte - PMRESP, 2009.

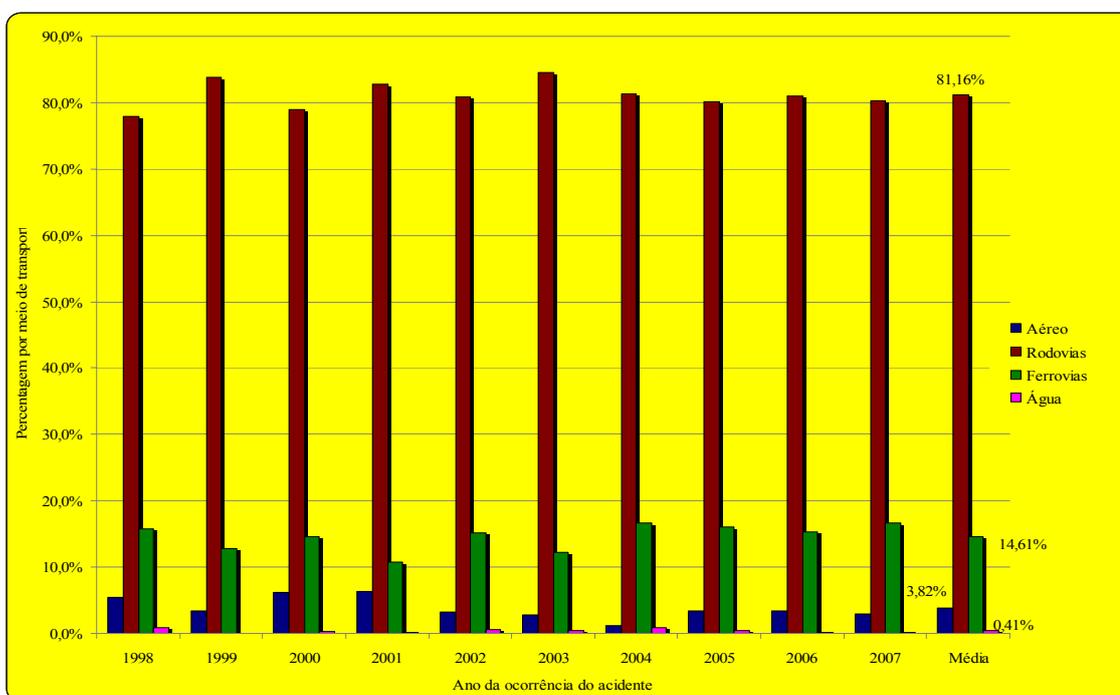


FIGURA 9 – Distribuição percentual de acidentes ocorridos durante o transporte de produtos perigosos nos EUA. Período 1998 – 2007. Fonte – Adaptado de DOT, 2009.

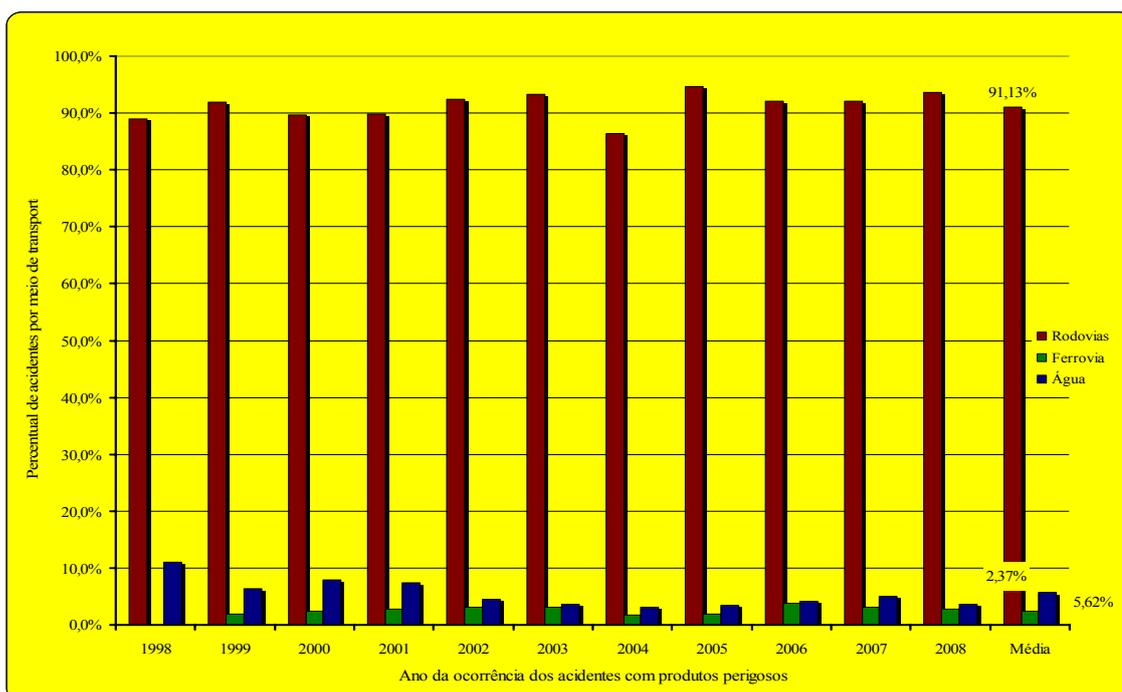


FIGURA 10 - Distribuição percentual de acidentes ocorridos durante o transporte de produtos perigosos no Estado de São Paulo. Período 1998 – 2007.  
Fonte – Adaptado de CETESB, 2009.

No Estado de Santa Catarina, o Departamento de Defesa Civil de Santa Catarina – DDCSC tem desenvolvido esforços no sentido de prevenir acidentes assim como mitigar as suas consequências, publicando informações a usuários e transportadores de produtos perigosos. O DDCSC considera PRODUTO PERIGOSO aquele que represente risco para saúde de pessoas, para a segurança pública ou para o meio ambiente. Os riscos de desastres com produtos perigosos, de natureza tecnológica, ocorrem no transporte rodoviário, ferroviário, marítimo, fluvial ou lacustre, no deslocamento por dutos, em instalações fixas, como portos, depósitos, indústrias produtoras de produtos perigosos, indústrias consumidoras de produtos perigosos, refinarias de petróleo, pólos petroquímicos, depósitos de resíduos, rejeitos ou restos, no consumo, uso ou manuseio de produtos perigosos (DDCSC, 2009).

Como justificativa, de suas ações relativas a acidentes com produtos perigosos, o Departamento de Defesa Civil de Santa Catarina – DDCSC, informa que centenas de milhares de produtos químicos são produzidos, armazenados, transportados e usados anualmente. Um acidente com produto perigoso, ocorre todas as vezes que se **perde o controle sobre o risco**, resultando em vazamentos que causam danos aos humanos, à propriedade e ao meio ambiente. Devido à natureza perigosa de muitos deles, foram

estabelecidas normas para reduzir os danos prováveis. Se essas normas não forem seguidas, perde-se o controle efetivo sobre o risco e origina-se uma situação de desastre iminente. Os acidentes com produtos perigosos, variam em função do tipo do produto químico e da quantidade e das características dos mesmos (DDCSC, 2009).

Um acidente de produto, perigoso para o Departamento de Defesa Civil de Santa Catarina DDCSC (2009), é uma situação na qual um produto perigoso vaza ou pode vazar para o ambiente que o rodeia. Todas as atividades que são requeridas, quando se aciona uma ação emergencial nestes acidentes, podem ser divididas em cinco amplos elementos que se interagem:

- RECONHECIMENTO** - identificação da substância envolvida e as características que determinam seu grau de periculosidade;
- AVALIAÇÃO do IMPACTO ou RISCO** apresentado pela substância perigosa à saúde pública e ao meio ambiente;
- CONTROLE** - métodos para eliminar ou reduzir o impacto do acidente;
- INFORMAÇÃO** - conhecimento adquirido através da Inteligência, Instrumentos de Leitura Direta e Exames de Amostras;
- SEGURANÇA** – proteção daquelas pessoas que atuam durante as ações emergenciais, tentando atender às consequências do acidente.

Alguns acidentes graves ocorridos no Brasil (com vazamento do produto) são citados pelo Departamento de Defesa Civil de Santa Catarina – DDCSC (2009), e que por semelhança de acidentes durante o transporte justificam as preocupações do assunto pelo governo estadual:

“PÓ DA CHINA” ocorrido no Rio de Janeiro/RJ, em 7 de junho de 1982– num depósito uma partida de “Pó da China” (Pentaclorofenato de Sódio), chegou ao Brasil em embalagens muito avariadas. A transferência do produto para novos vasilhames foi realizada por vários homens vestidos apenas com calções, sem máscaras, luvas, óculos e num dia de 40°C de calor. A "poeira" do “Pó da China” foi inalada para os pulmões, enquanto os corpos cobertos de suor absorveram o composto pela pele. Resultado: três operários mortos por intoxicação.

GASOLINA e ÁLCOOL acontecido no Município de Pojuca / BA, em 3 de

agosto de 1983 um trem descarrilou, tombando vários vagões com gasolina e álcool. A população residente nas imediações aproveitou para encher baldes e latas com combustíveis derramados para venda a terceiros, até que de repente, uma faísca incendiou os combustíveis vazados e os vagões carregados, enfim, toda a composição ferroviária. Resultado: mais de cem mortos, especialmente, crianças.

VAZAMENTO EM DUTO ocorrido na Vila Socó, Município de Cubatão / SP, em 24 de fevereiro de 1984, nesta área a Petrobrás enterrou uma rede de dutos para deslocamento de sua gasolina ou diesel. Sobre os dutos, a população de Vila Socó construiu uma favela. Certa noite, um dos dutos vazou e o combustível derramado pegou fogo, talvez em contato com algum fogão doméstico aceso, um grande incêndio que levou à morte mais de 500 pessoas.

SHOPPING CENTER DE OSASCO – Osasco / SP, em 11 de julho de 1986, a instalação fixa subterrânea destinada a conduzir o GLP (gás de cozinha) para diferentes pontos do prédio vazou. O gás acumulado, numa parte inferior da construção, explodiu certamente em contato com chama ou faísca - provocando destruição parcial do shopping e morte de mais de 40 pessoas, além de inúmeros feridos.

No Estado de Santa Catarina, os objetivos do programa do Departamento de Defesa Civil de Santa Catarina - DDCSC são:

- Prevenir acidentes de cargas com produtos perigosos;
- Reduzir o risco de acidentes de tráfego rodoviário nas áreas dos mananciais;
- Minimizar as consequências, provenientes de sinistros de cargas com produtos perigosos;
- Adotar ações e medidas mitigadoras eficientes, em função dos eventuais acidentes que venham ocorrer;
- Disciplinar ações padronizadas de emergências, que colaborem para reduzir os prejuízos decorrentes de cargas com produtos perigosos;
- Envolver os órgãos competentes, que por sua elevada especialização, desenvolvem ações eficientes de prevenção, controle, monitoramento e treinamento quanto a acidentes de cargas com produtos perigosos.

Órgãos que participam do programa: Defesa Civil, Secretaria dos Transportes e

Obras, Secretaria da Fazenda, Polícia Militar, Polícia Rodoviária Federal, Polícia Rodoviária Estadual, Polícia de Proteção Ambiental, Corpo de Bombeiros, Vigilância Sanitária, DER, Fundação do Meio Ambiente – FATMA, Instituto Nacional de Metrologia e Qualidade Industrial – INMETRO e Comitê Catarinense de Controle de Qualidade dos Combustíveis.

Conforme a Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC (1996), em pesquisa realizada em 1990, coordenada pelo Centro de Estudos e Treinamento para Emergências da Região Sul – CETREM / SUL – UDESC – FATMA, com aplicação de questionários aos motoristas de veículos especializados no transporte de produtos perigosos, comprovou-se que 1.500 veículos por dia, em média, cruzam as principais rodovias da Região Sul. Somente em Santa Catarina, foram registrados 19 acidentes de grande porte por ano, que exigiram resposta sistêmica dos órgãos emergenciais, com uma complexa atividade de coordenação.

Segundo UDESC (1996), nos Estados da Região Sul, os acidentes envolvendo produtos químicos podem ocorrer em qualquer fase de sua utilização, mas não há dúvida que as operações de transporte são as mais críticas, por agregar ao potencial natural de risco, outras variáveis importantes, tais como: a exposição ao meio ambiente livre, a possibilidade de acidentes provocados por outros veículos, condições nem sempre ideais de transporte, bem como outras condições adversas, capazes de desencadear emergências a qualquer hora do dia e em qualquer ponto do deslocamento entre o local de despacho da carga e o seu destino final, com sérios impactos sobre o meio ambiente e a saúde das pessoas expostas.

Assim sendo, é entendida como prioritária a ação deste projeto nas atividades de transporte, sobretudo o rodoviário, estendendo-se numa segunda etapa para as outras fases do processo de uso de tais produtos.

Corroborando com tais informações, é argumentado que:

- Ainda não são significativas as informações disponíveis sobre o transporte e demais operações com produtos perigosos;
- Por ocasião da plenitude do MERCOSUL, haverá o incremento no

intercâmbio entre o Brasil e os demais países, por consequência, poderá ocorrer um aumento no número de acidentes com produtos químicos, considerando-se que a Região Sul é a principal interface com a região sul-americana;

- A grande variedade de produtos e condições de transporte exigirá um permanente acompanhamento para reduzir o risco de acidentes.

- Há necessidade de pesquisas e estudos que gerem conhecimentos mais precisos sobre as condições de transporte, capazes de identificar problemas, difundir informações e servir de base técnica para o planejamento de ações pelos tomadores de decisão nos três Estados da Região Sul;

- Há necessidade de uma revisão da literatura nacional atinente, bem como mais conhecimento da legislação e normas técnicas dos países envolvidos;

No Estado de Pernambuco, a Companhia Pernambucana do Meio Ambiente – CPRH (2008) é o órgão responsável pela realização da política ambiental do Estado. Para exercer a sua missão de forma eficaz e eficiente, fez uma parceria com organizações nacionais e internacionais, como é o caso do Projeto Controle Ambiental no Estado de Pernambuco / *Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit – GmbH – CPRH / GTZ*, resultando num acordo de cooperação técnica firmado entre os governos do Brasil e da Alemanha.

O Projeto CPRH / GTZ foi planejado e desenvolvido, em etapas, no período de 1995-2002, para apoiar a Companhia Pernambucana do Meio Ambiente – CPRH, de forma que o órgão ambiental melhorasse o desempenho de suas atribuições em prol das condições ambientais do Estado de Pernambuco. A partir de uma avaliação geral da situação ambiental de Pernambuco e da capacidade de atuação da Companhia Pernambucana do Meio Ambiente – CPRH, bem como da *Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit – GTZ*, foi possível traçar as diretrizes para que o Projeto viesse a contribuir eficientemente nas ações da Companhia, com atividades realizadas, sobretudo, na Região Metropolitana do Recife, onde está concentrado o maior percentual populacional do Estado e o maior número de indústrias, fatores que, conseqüentemente, geram problemas ambientais.

Para promover ações que resultassem na melhoria das condições ambientais nas indústrias, fez-se necessário que a Companhia Pernambucana do Meio Ambiente – CPRH aprimorasse os seus instrumentos de controle ambiental, investindo no aperfeiçoamento do

licenciamento e da fiscalização. Essas mudanças exigiram a reestruturação do órgão para se tornar uma instituição mais ágil, moderna e eficiente no seu funcionamento. Com o objetivo de atingir essa meta, foram identificados os pontos fundamentais de mudança na companhia e definidas as seguintes áreas estratégicas para atuação do Projeto CPRH / GTZ:

- Aprimorar os mecanismos de fiscalização ambiental nas indústrias. Com a elaboração de sofisticados Roteiros Complementares aos Manuais de Licenciamento e de Fiscalização, com medidas de controle por tipologias industriais, sendo inicialmente contempladas as tipologias papel e celulose, têxtil e galvanoplastia. Durante todo o processo, foi enfatizado que as medidas de controle deviam ser adotadas desde o início da produção, para impedir a geração de poluentes.

- A reutilização e a reciclagem foram adotadas na nova forma de produção. Outros instrumentos de controle foram melhorados, como o automonitoramento e o controle ecotoxicológico dos efluentes.

- A elaboração do Inventário de Resíduos Sólidos Industriais de Pernambuco e o Plano de Emergência para Transporte de Produtos Perigosos fazem parte dessa área estratégica de atuação do Projeto, melhorando o desempenho do corpo técnico da CPRH, nas análises ambientais, nas vistorias, na elaboração de pareceres e de propostas para soluções individuais e globais.

No Estado de São Paulo em virtude da relevância dos acidentes com produtos perigosos, quando transportados, a Secretaria de Estado dos Transportes de São Paulo criou, em 28 de abril de 1999, a Comissão de Estudos e Prevenção de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos, cujo objetivo é a prevenção e a redução dos acidentes com produtos perigosos nas rodovias Estaduais. Essa comissão é integrada por representantes do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER, empresas concessionárias de rodovias, Polícia Militar Rodoviária, Corpo de Bombeiros, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, Defesa Civil, Sindicatos de Transportadores, Associações e diversos órgãos representativos do segmento de segurança e de transportes (SETESP, 2008).

## 2.4 Considerações do capítulo

Conclui-se pelo exposto que os acidentes com o transporte de produtos perigosos é um problema que preocupa o Estado e a sociedade. Não só com o acidente em si, mas também as consequências que este acidente ocasiona, no caso de um derramamento ou vazamento, atingindo a população e o meio ambiente, isto se não considerarmos todos os custos com a perda do próprio produto, do meio de transporte, com a mobilização do socorro e a interdição de rotas.

Todos os autores e sociedade ratificam que antes de se preocupar com o acidente em si é de fundamental importância ocupar-se com a prevenção, para que este não ocorra. Essa prevenção, no entanto, é passível de estudos mais elaborados, das falhas humanas, dos meios de manipulação e do transporte do produto perigoso em si.

Sistematicamente é enfatizada a necessidade de um forte esquema de planejamento e controle de ações preventivas, e que esse conjunto de ações tenha um gerenciamento eficiente e eficaz. Segundo Hartman (1997), sistemas de detecção e alarme fazem o papel dessas ações preventivas, em plantas fixas, o que é inviável nos meios de transporte de produtos via contêineres.

Há de se observar que o investimento na segurança não passa somente na tecnologia dos equipamentos envolvidos, mas sim no treinamento do principal agente envolvido, o ser humano.

### **3 METODOLOGIAS ATUALMENTE DISPONÍVEIS PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS**

Neste capítulo, devido à necessidade de considerar múltiplos fatores na avaliação das metodologias para a seleção de rotas mais seguras, haverá três subdivisões: a **primeira** contendo conceitos e ferramentas que usualmente são empregadas no campo da segurança; a **segunda** parte será composta do estado da arte no que diz respeito às metodologias empregadas para a seleção de rotas mais seguras, e na **terceira** e última parte, será abordado o motivo pelo qual há uma necessidade de modificar-se a metodologia escolhida para ser aplicada no Brasil.

#### **3.1 Conceitos Gerais**

Conforme a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2009), a abrangência da área de segurança, ampla e presente em todos os segmentos da sociedade, nos profissionais e pessoas que estão envolvidas têm como consequência experiências diferenciadas adquiridas ao longo do tempo. Essa diferenciação torna a área de segurança rica no conhecimento dos perigos e riscos em que cada comunidade está potencialmente exposta. Essa diversidade de experiências gera procedimentos específicos e necessários a cada situação em si, tendo também como consequência a denominação de termos próprios a este trabalho.

Desse modo, é conveniente destacar alguns desses conceitos para consolidar a questão.

A palavra risco faz parte do cotidiano e é empregada de diversas formas e com diversos sentidos. O risco do acidente, o risco de dar errado, o risco iminente, o risco elevado são alguns exemplos corriqueiramente encontrados nas literaturas técnica ou leiga, cujo sentido predominante é o de representar certa chance de algo acontecer. Assim, é

hábito dizer que o risco é iminente ou que o risco é elevado para algo que parece certo ou com grande chance de acontecer (CETESB, 2009).

Não é difícil intuir que “a chance de algo acontecer” está relacionada com certo efeito observável sobre um bem que se quer proteger, podendo ser esse bem o homem, uma espécie vegetal ou animal, ou ainda propriedades e equipamentos. Sob a ótica ambiental é costumeiro observar os efeitos das substâncias químicas consideradas poluentes sobre o homem ou, mais amplamente, sobre o meio ambiente. Os efeitos podem decorrer das emissões contínuas ou intermitentes provenientes das indústrias, das diversas formas de transporte ou, genericamente, da atividade antrópica (CETESB, 2009).

Uma das abordagens de risco bastante disseminadas na área ambiental está associada com a manipulação de substâncias químicas consideradas altamente perigosas, presentes na atividade industrial, de armazenagem e nas diversas formas de transporte. É possível estimar e avaliar o risco dessas atividades, bem como propor formas de gerenciamento desse risco.

Formalmente, o risco tratado dentro da visão mencionada é definido como a combinação entre a frequência de ocorrência de um acidente e a sua consequência. A adequada composição desses fatores possibilita estimar o risco de um empreendimento, sendo o estudo de análise de risco a ferramenta utilizada para esse fim. Com a estimativa realizada, é possível comparar as diversas formas de expressão do risco com padrões previamente estabelecidos, fazendo-se então a avaliação do risco, sendo, portanto, possível decidir sobre a viabilidade ambiental de um empreendimento (CETESB, 2009).

Para a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, o risco é classificado como:

- Risco – é a medida de danos à vida humana, resultante da combinação entre a frequência de ocorrência e a magnitude das perdas ou danos (consequências).
- Risco individual – é o risco para uma pessoa presente na vizinhança de um perigo, considerando a natureza da injúria que pode ocorrer e o período de tempo em que o dano pode acontecer.

- Risco social – é o risco para um determinado número ou agrupamento de pessoas expostas aos danos de um ou mais acidentes.

Real e Braga (2000), em seu artigo, expõem que alguns conceitos como os de: **perigo** (*danger* ou *peril*), **fonte de perigo** (*hazard*), **incerteza** e **probabilidade**, são utilizados com sentidos semelhantes e muitas vezes confundidos com os de riscos.

**Risco**, conforme a *National Academy of Sciences* – NAS (1996), é “um conceito utilizado para dar significado às coisas, forças ou circunstâncias que apresentam perigo para as pessoas ou para aquilo que elas valorizam”. Ainda, de acordo com a NAS, ao se descrever um risco deve-se indicar as probabilidades de ocorrência de danos ou de perdas, associadas a uma determinada fonte de perigo. Fonte de **perigo** (*hazard*) “é algo que pode provocar danos ou que pode expor alguém ao perigo” de acordo com definição estabelecida por Horby (2007) ou ainda, segundo Rejda (2007), uma condição que gera ou aumenta a possibilidade de riscos. Já o conceito de **perigo**, conforme Gratt (1987), expressa uma exposição relativa a uma fonte de perigo.

Torreira (1999) considera que; se uma fonte de **perigo** é algo que pode provocar danos e se os perigos são os vários tipos de danos que podem por ela ser provocados, então os riscos seriam formas de avaliações quantitativas e qualitativas, das possibilidades de uma fonte de perigo provocar danos.

Segundo Merkhofer (1987), a forma de se estabelecer um risco envolve três condições básicas: **fontes de perigo, o processo de exposição e os efeitos adversos**.

Pelo exposto, o transporte rodoviário de produtos perigosos conjuga várias delas, pois além das características de sua carga, ela está inserida em um ambiente onde existem simultaneamente outras fontes de perigo, tais como, estado da rodovia, estado de conservação do veículo e sinalização deficiente.

Rhyne (1994) conceitua os termos **perigo** e **risco** como sendo sinônimos no uso diário, mas que na realidade são bastante diferentes em uma linguagem técnica;

- **Perigo** é inerente às características de um produto, condição ou atividade que

tem o potencial de causar dano à população, à propriedade ou ao meio ambiente. Um tanque pressurizado que contém ar tem o potencial de causar danos à população se os fragmentos atingi-la, em caso de rompimento, com a fragmentação desse tanque. Um tanque, não pressurizado e cheio de produto tóxico, tem o potencial de causar danos em razão da quantidade que pode vaziar.

- **Risco** é a combinação da **probabilidade** e da **consequência** de um perigo em situação específica. O risco, usualmente, é definido como a **Probabilidade x Consequências**. Quando a probabilidade é multiplicada pelas consequências, um acidente que é esperado para causar uma fatalidade e ocorre 10 vezes em um ano, tem o mesmo risco matemático de um acidente que é esperado e cause 1.000 fatalidades e ocorra a cada 100 anos. Como pode ser observado uma grande parte da informação é perdida, quando o risco é expresso pelo produto da frequência e consequência (Rhyne, 1994).

- A **Análise Quantitativa de Risco (AQR)** incorpora a estimativa numérica de frequência e consequências de uma forma sofisticada, porém aproximada. Na prática, poucas decisões requerem iguais níveis de sofisticação de ambos os componentes, frequência e consequência. Os procedimentos de análise quantitativa de riscos, aplicados em um processo industrial (em uma planta fixa), basicamente são os mesmos aplicados na atividade de transporte (Rhyne, 1994).

- **Probabilidade** é um valor numérico que se situa entre zero e um, refletindo o grau de certeza da possibilidade da ocorrência do evento. Nos casos de acidentes com produtos perigosos, esta probabilidade é condicional a eventos que previamente tenham ocorrido e precedam imediatamente ao evento que está sendo avaliado (Rhyne, 1994).

- **Frequência** é a taxa com que os eventos ocorrem e pode ser expressa com eventos por ano e acidentes por milha. A frequência, como componente do risco, usualmente consiste na frequência multiplicada por diferentes termos de probabilidades condicionais (Rhyne, 1994).

- **Consequência** é o efeito direto, usualmente não desejado, resultante de um acidente ou incidente. As consequências usualmente são medidas pelos efeitos causados à

saúde humana, podendo, entretanto, serem expressas como custos da perda de propriedade ou o valor do material, que vazou em razão do acidente (Rhyne, 1994).

- **Avaliação de risco e análise de risco**, usualmente, são utilizados de forma intercambiável (Rhyne (1994) adota como análise de risco a computação dos riscos e a avaliação de risco, como a determinação da aceitabilidade de um risco, pela comparação de resultados de outros riscos).

- **Gerenciamento de riscos** é definido como a ação tomada para a redução ou eliminação de riscos.

- **Evento inicial** é o primeiro na sequência de eventos que podem levar a uma consequência não desejável. Um exemplo é a falha das funções do sistema de freios de um caminhão.

- **Um acidente passível de ser relatado** é aquele que tem suficiente severidade para ser informado às autoridades competentes. Ele não necessariamente envolve vazamento de um produto perigoso no transporte.

Conforme a definição do Dicionário da Língua Portuguesa - Houaiss (2009), acidente é definido como um acontecimento casual, fortuito, imprevisível.

Rhyne (1994) cita que o DOT define um **incidente** como um vazamento durante o processo de carga e descarga, quando o veículo está a serviço de transporte ou quando está armazenando o produto perigoso. Assim, um incidente pode não estar relacionado a um acidente, também podendo resultar de um acidente. Um acidente pode ou não resultar em um incidente.

Pode-se constatar que as definições de cada termo, com inicialmente abordada dependem do meio em que se programa a segurança. Dando continuidade às diversas formas de enfoque das definições a serem utilizadas neste trabalho, Torreira (1999) escreve sobre segurança: “O povo aplica seus conhecimentos, fazendo seu mundo particular tecnologicamente seguro, constituindo estes conceitos ferramentas que são empregadas no campo da segurança”.

Na prática, as pessoas envolvidas com a área de segurança desenvolvem a cada momento conceitos de compreensão, às vezes complexos, às vezes confusos, com o intuito de solucionar os problemas imediatos e relativos ao perigo.

Alguns conceitos são aprimorados e têm sido incorporados ao vocabulário da segurança profissional. Destes, alguns conceitos ajudaram, conforme apreciação particular de alguns profissionais, já outros foram caracterizados como prejudiciais.

Os estudos na área segurança devem considerar todos esses conceitos, podendo complementá-los, extraindo proposições mais adequadas ao contexto tecnológico, tomando os mais apropriados, na solução de problemas relativos à segurança (Torreira, 1999).

Para Torreira (1999) o ponto de partida, é conceituar a importância da segurança de uma forma geral, sendo este conceito fundamental para a utilização de termos e procedimentos. Existem, obviamente, grandes motivos para pensar em segurança, pois a sociedade consagra elevado valor ao bem-estar e à vida humana. Este fato proporciona a primeira e fundamental razão para a segurança: *humanitarismo*.

Os padrões do que é certo e errado para a maioria da sociedade são subjetivos e seguem os valores pessoais. Este subjetivismo na sociedade é minimizado pela criação de leis que formalizam procedimentos, tornando-os para Torreira (1999), a segunda razão para a segurança. Os padrões sociais demonstram que a vida e a capacidade de viver constituem um mérito ou um direito. A propriedade também é um direito e, como parte de um sistema econômico, a todo instante a sociedade determina o valor da sua propriedade, da sua capacidade humana e da sua própria vida.

O terceiro motivo para Torreira (1999) é constituído pelo custo. O custo mede-se em despesas reais, evitando-os; na perda da capacidade de trabalho ou ainda da sua propriedade. Cada uma destas três razões: humanitarismo, leis e custos merecem um tratamento diferenciado.

É importante reconhecer a ampla gama de padrões que a sociedade necessita e espera, para obedecer, possuir e naturalmente segui-los conscientemente.

Segundo Torreira (1999), com respeito a definições de Acidentes, Danos, e Perdas: Definição de Acidente – “*Acontecimento casual, fortuito, imprevisto*” Acontecimento casual ou não e que resulta ferimento, dano, estrago, prejuízo, avaria e ruína. O próprio acontecimento constitui o elemento-chave dessa definição, termo acidente evoca considerações acerca de consequências indesejáveis. O termo sugere a maior parte das pessoas sincronismo entre o evento e o efeito, tendo por consequência o raciocínio de que um acidente é evento rápido e de curta duração. Algumas definições e idéias associadas ao termo acidente criam problemas para os campos da segurança e saúde.

Para Torreira (1999), podem-se determinar três das principais dificuldades:

- A idéia da ocorrência por probabilidade.
- A relação entre acidente, eventos e consequências.
- Duração dos eventos.

Em segurança, caracteriza-se um acidente a uma ou mais causas identificáveis.

- Atos inseguros
- Condições inseguras

Os acidentes podem incluir uma ou duas causas. O reconhecimento dessas duas características tem como consequência a prevenção. Considerar que existe uma correlação entre evento acidental e consequências pode levar a cometer um erro. Às vezes poderá ser admitido que um acidente inclua condições adversas.

O relato sobre um acidente ocorrido tem usualmente com primeiro questionamento “todos estão bem?”. Isso define o quanto a palavra acidente está relacionada à existência de danos (consequências). Essa correlação, não necessariamente, está sempre correta, pois alguns acidentes não incluem dano ou perda significativos.

Outra relação: tipo de acidente-consequência pode conduzir ao erro denominado de “imediatismo”. Nem sempre os “resultados” do acidente aparecem imediatamente logo após o evento. Em segurança e saúde, devem-se considerar doenças e problemas posteriores. Pelo exposto, pode-se determinar a existência de um período de demora ou estado de latência entre o evento e a manifestação. Por exemplo, os sintomas de

queimadura podem acusar maior intensidade, decorrido maior tempo. Alguns tipos de câncer têm um período de latência de 20 a 40 dias após o agente causador. A ideia de efeito imediato implica no fato de que no termo acidente torna-se difícil incluir em sua conotação doenças e distúrbios manifestados em longo prazo em decorrência do acidente. O evento acidente, usualmente, é considerado de curta duração, quando na realidade, os seus efeitos sejam eles no ser humano, meio ambiente ou propriedade podem ocorrer em períodos de horas, dias, semanas ou até anos.

Pelo exposto e sem modificar o termo expresso no dicionário mas complementando-o, Torreira (1999) define: “Acidente é um evento incompreensível, não planejado, de sequência simples ou múltipla, causado por atos ou condições inseguras ou ambos, e que podem resultar em efeitos imediatos ou delongados”.

As perdas consequentes dos acidentes são constituídas de vários tipos: doenças, moléstias, hospitalização, reabilitação ou morte, danos à propriedade, equipamento, materiais, meio ambiente, custos de substituição, perda de tempo, produção, vendas, viagens, elaboração de relatórios, investigações, limpeza, serviços legais e recuperação da imagem pública.

Alguns termos também devem ser definidos, dada a sua importância:

- Segurança: é o estado, no qual as pessoas, materiais, edifícios e outros elementos encontram-se livres de dano, perigo ou moléstia.
- Risco: é a medida das probabilidades e consequências de todos os perigos de uma atividade ou condição. Pode ser definido, ainda, como a possibilidade de dano, prejuízo ou perda.
- Perigo: é a possibilidade ou probabilidade de uma determinada atividade, condição, circunstância ou mudança de condições produzirem efeitos perigosos (Torreira, 1999).

Para o DOT (2008), o propósito do Programa de Transporte de Produtos Perigosos, inicialmente estabelecido pelo estatuto em 1974, era e é o de identificar e gerenciar os riscos presentes nas atividades de transporte de produtos perigosos. Sendo a segurança de suprema importância o DOT busca envolver o público, a indústria e outras

partes interessadas na determinação de níveis de riscos aceitáveis e comparáveis com outros riscos que fazem parte de uma sociedade moderna. O DOT estabelece regras definidas para o gerenciamento de riscos associados ao transporte de produtos perigosos identificando: os riscos em potencial, a probabilidade de ocorrência de acidentes e as consequências desses acidentes. Decorrente dessas ações, ele define:

- **Perigo** é inerente às características de um produto, condição ou atividade que tenha o potencial de causar dano à população, à propriedade ou ao meio ambiente;

- **Risco** é a combinação da probabilidade e da consequência de um específico perigo ter sido concretizado;

- **Probabilidade** é um valor numérico que se situa entre zero e um, e expressa o grau de certeza da possibilidade da ocorrência do evento. Probabilidade é uma medida da taxa de um possível evento expresso como uma fração do total número de eventos (p. ex., um em um milhão,  $1/1\ 000\ 000$ , ou  $1 * 10^{-6}$ );

- **Consequência** é o efeito direto de um evento, acidente ou incidente. Ela é expressa com um efeito à saúde humana (*e.g.*, morte, dano, exposição), perda de propriedade, efeitos ao meio ambiente, evacuação ou quantidade de produto vazado (liberado);

- **Análise do perigo** é a identificação das propriedades do produto perigoso e de elementos do sistema ou eventos que levam a um dano ou perda. O termo análise do perigo pode também incluir avaliação das consequências provenientes de um evento ou acidente;

- **Análise de risco** é o estudo do risco para entendê-lo e quantificá-lo, podendo então gerenciá-lo;

- **Avaliação ou caracterização do risco** é a determinação do contexto do risco e aceitabilidade, frequentemente por comparação de riscos similares.

- **Análise Quantitativa do Risco (AQR)** incorpora valores numéricos estimados da frequência /probabilidade e consequência. Na prática, uma análise sofisticada de risco requer uma grande quantidade de dados, os quais são custosos na sua aquisição ou frequentemente são impossíveis de obter, sendo poucas as decisões que exigem uma quantificação sofisticada de frequência e consequências;

- **Análise relativa de risco** é a forma pela qual um risco é avaliado em relação a outro risco. Este tipo de análise é a mais utilizada em razão dos dados disponíveis, da exposição, da frequência e da severidade do potencial de perda;

- **Gerenciamento de risco** é a aplicação sistemática de políticas, práticas e

recursos para avaliar, controlar o risco efetivo à saúde humana e à segurança. A análise do perigo, risco e a relação custo/benefício são usados como suporte para desenvolver opções de redução do risco, programas objetivos e priorização de conteúdos e recursos. Uma regra crítica da área de segurança é identificar as atividades que envolvam riscos significativos e o estabelecimento de um nível aceitável destes riscos. Um nível de risco perto do zero pode ser muito custoso na maioria dos casos e inviável de se obter;

- Um nível aceitável de risco para as normas de segurança e exceções a estas é estabelecido pela consideração do risco, relação custo/benefício e opinião pública;

A análise relativa ou comparativa de risco é mais frequentemente usada quando a análise quantitativa não é prática ou justificada. A participação do público é importante no processo da análise de risco, não somente para uma melhor compreensão da população envolvida ao risco associado ao transporte do produto perigoso, mas também para assegurar que o ponto de vista desta população esteja incluído no processo de análise. A análise do risco e da relação custo/benefício são ferramentas importantes para informação do público sobre o risco a que está sujeito. Por meio de um processo público, o *Research and Special Programs Administration* – RSPA estabelece uma classificação de riscos, meios de informe sobre riscos, formas de acondicionamento de produtos perigosos e normas operacionais de controle de riscos (DOT, 2008).

Para Barilla *et al.* (2009), é necessária uma análise integrada do risco com o planejamento do gerenciamento do transporte de produtos perigosos para prevenir que o potencial de perigo se transforme em um evento real. A ação proposta por Barilla *et al.* (2009) mostra a associação existente entre risco, perigo e evento real.

As ferramentas que são empregadas na segurança do transporte de produtos perigosos são aquelas que ajudam a gerenciar riscos ou a eliminá-los. Em geral, essas ferramentas saíram das áreas de produção, dos centros de controle de qualidade e dos polos administrativos e foram sendo adaptadas para cada caso em particular.

São utilizados para uma análise quantitativa e qualitativa do risco formas de avaliação estatísticas, árvores de falhas, árvores eventos, métodos de causa e efeitos, Análise do Tipo e Efeito de Falha – (*do inglês Failure Mode and Effect Analysis*) – FMEA.

O foco principal da análise é que vai determinar os métodos mais convenientes e possíveis a serem aplicados, assim como a disponibilidade de dados sobre o que se quer avaliar.

Conforme Lopes e Paulo (2001) o desenvolvimento da aplicação de vários métodos começou de uma forma organizada, com Frank Bird Jr e John Fletcher, que realizaram estudos na *Insurance Company of North America*, envolvendo cerca de 1.750.000 casos de acidentes registrados em 297 empresas norte-americanas, culminando com o Plano de Controle Total de Perdas – (*Total Loss Control Plan*), hoje aplicado nas empresas com o nome de Prevenção Total de Perdas, que é baseado na teoria de controle de danos. A partir de 90.000 acidentes ocorridos durante um período de sete anos, obteve-se a seguinte proporção:

Para cada 600 situações potenciais de acidentes (incidentes ou “sustos”), um tornou-se grave ou fatal, dez provocaram lesões graves e trinta atingiram a propriedade ou patrimônio das empresas, sem lesões ao ser humano (Lopes e Paulo, 2001). Tal representação pode ser vista na FIG. 11 – Triângulo estatístico de Bird e Fletcher.

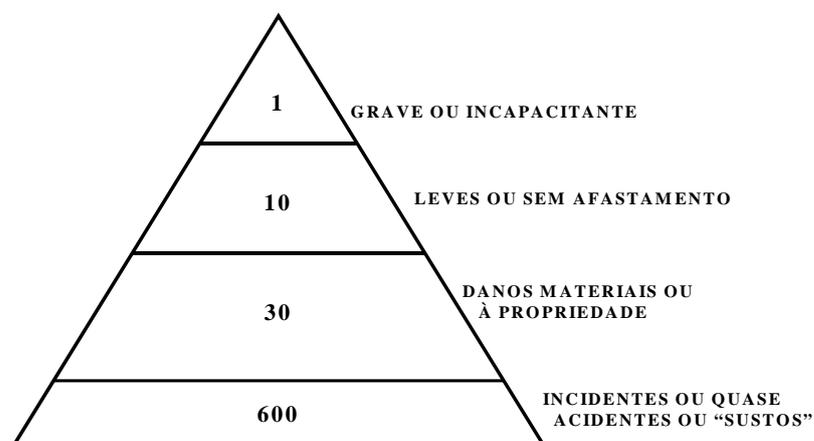


FIGURA 11 – Triângulo estatístico de Bird e Fletcher.  
Fonte - Lopes e Paulo, 2001.

Existe uma importante correlação entre a frequência de acidentes com danos e os custos diretos. Um conceito a respeito desse tema estabelece que os custos sejam desigualmente distribuídos para cada acidente do mesmo tipo. Verifica-se que itens significantes para um determinado grupo de acidentes são considerados pequenos com relação ao total (Torreira, 1999).

Disso deduz-se que, em todos os casos deve ser dada a importância devida a cada tipo de acidente, quantificando e qualificando-o corretamente (Torreira, 1999).

Dentre as ferramentas citadas para avaliação do risco surgem teorias de como o acidente ocorre, porém é de opinião unânime que a melhor situação é que o acidente não ocorra, ou seja, que haja uma posição preventiva. O custo da não ocorrência de um acidente é muito menor do que o custo das consequências do mesmo.

De um modo geral, há um conceito aceito de que um acidente pode sempre ser evitado, pois o mesmo é precedido sempre de *atos* ou *condições inseguras* (Paulo e Lopes, 2001).

Dependendo da teoria em que se baseia a análise de um risco, as “ferramentas” são utilizadas para quantificá-lo ou qualificá-lo.

Uma das analogias realizadas para demonstrar uma situação de acidente e que pode ser transposta é a da sequência de cinco pedras de dominó, em que cada pedra é disposta verticalmente a uma distância menor que sua própria altura, cada pedra representando uma ação ou consequência. Havendo a queda de uma pedra, essa derrubará a subsequente representando uma sequência de eventos, daí estudando-se as causas e consequências de cada elemento que gerou o acidente.

Outras teorias manifestam que acidentes e danos são devidos à transferência de energia entre dois corpos, como por exemplo, uma expansão (violenta) de um gás, gerando uma explosão.

A teoria da energia sugere que a quantidade de energia, assim com os meios e as taxas de transferência, encontra-se relacionada ao tipo e gravidade dos danos.

Às vezes, essa teoria é denominada de teoria de vazamento da energia, porque a taxa de vazamento constitui um componente importante. Essa teoria pode ser válida ou atrativa quanto à sua aplicação a um nível razoável de profissionais, quando possibilita sugestões e ideias para o controle de condições inseguras.

Segundo Torreira (1999), algumas pessoas, particularmente treinadas na

prevenção e investigação de acidentes, podem ter a ideia de que exista uma causa única para um acidente. A teoria do fator único estabelece que quando a causa é determinada, não há necessidade de maiores aprofundamentos. Existe outra teoria para acidentes, que estabelece que estes são causados por vários fatores atuando conjuntamente. Nessa teoria os fatores se combinam de forma casual ou não, causando acidentes.

Outro modelo aceito é denominado dos quatro pontos ou quatro letras: ***Homem, Máquina, Meio e Estrutura Organizacional*** (Torreira, 1999).

Segundo Torreira (1999) “***Homem*** refere-se a pessoas. ***Máquina***, a qualquer equipamento ou veículo. ***Meio*** inclui elementos tais como instalações, pistas, calçadas, vias de trânsito e clima. ***Estrutura Organizacional ou administração*** é o contexto no qual os três anteriores existem e operam”.

### **3.2 – Estado da arte das metodologias para a seleção de rotas mais seguras.**

As metodologias de análise de riscos, em particular, utilizadas na seleção de rotas mais seguras, são baseadas na investigação de riscos, proveniente da área financeira utilizando a equação (1), ou seja:

$$\text{Risco} = (\text{Probabilidade de Acidente}) * (\text{Consequência do Acidente}) \quad (1)$$

Existem várias ferramentas para análises quantitativas de riscos em geral. Porém, especificamente, para a avaliação de rotas de menor risco no transporte de produtos, destacam-se os autores relacionados em ordem cronológica na TAB. 4.

Por meio de uma análise detalhada das metodologias propostas pelos autores mostrados na TAB. 4, constatou-se que todos partiram da equação (1) e derivaram a proposta de metodologia a partir dos autores: Pijawka *et al.* (1985), Scalon e Cantilli (1985), Harwood *et al.* (1989), Rhyne (1994). Na mesma análise percebe-se que cada autor deu ênfase às necessidades emergentes da época e do local em análise, “ajustando” os coeficientes da equação (1) para isso.

TABELA 4 – Autores que desenvolveram metodologias para o cálculo de risco no transporte de produtos perigosos

Autor (es)	Ano	Local
Pijawaka <i>et al.</i>	1985	EUA
Saccomanno e Chan	1985	EUA
Scalon e Cantilli	1985	EUA
Harwood <i>et al.</i>	1989	EUA
DOT	1990	EUA
Fricke	1992	Brasil
Rhyne	1994	EUA
Erkut e Verter	1995	EUA
Brainard <i>et al.</i>	1996	EUA
Nicolet-Monnier e Gheorghe	1996	Suíça
Ramos	1997	Brasil
Cassine	1998	França
Llewellyn	1998	Inglaterra
Leonelli <i>et al.</i>	2000	Itália
Real e Braga	2000	Brasil
Rueda <i>et al.</i>	2002	Espanha
Hartman	2003	Brasil
Lópes e Ordoñez	2003	Espanha
López	2005	Espanha
Dadkar <i>et al.</i>	2008	EUA
Barilla <i>et al.</i>	2009	Bulgária

Fonte – Pesquisa bibliográfica realizada para este trabalho.

Em ordem cronológica as principais metodologias e pontos de relevância são relatados a seguir:

Pijawka *et al.* (1985), além de sugerir um modelo de gerenciamento de riscos (ou a mitigação destes), considera que o risco é resultante do produto da vulnerabilidade e do acondicionamento do produto perigoso transportado. Através da utilização de distâncias para evacuação em casos de derramamento de produtos químicos, um fator de risco (para população) foi definido como o produto da probabilidade de acidente com materiais perigosos vezes a número de pessoas expostas a este produto. A pontuação para uma rota individual reflete a interação de quatro variáveis:

- (a) o número de eventos perigosos que tem ocorrido na rota;

- (b) a probabilidade de acidente com produtos perigosos;
- (c) a população exposta ao risco e o potencial de perigo relativo, composto do potencial da severidade do acidente;
- (d) volume de materiais perigosos por classe.

Segundo o artigo publicado por Pijawka *et al.* (1985), o aumento da consciência de acidentes com materiais perigosos, o potencial de consequências catastróficas e atividades de planejamento do transporte deste tipo de carga tem liderado formas de atenuar o risco. O fator vulnerabilidade foi apresentado como a interação do risco propriamente dito com os fatores de planejamento. A redução da vulnerabilidade implica no aumento e expansão em planejamento e uma redução do risco.

Duas aproximações foram empregadas - o método do risco da população e uma composição ponderando o “*Potential Hazard Rating – PHR*” que é composto de dois fatores de risco: volume de material perigoso transportado através de classes e distância de evacuação que recebe uma classificação vinculada ao tipo de produto perigoso. Comparações dos resultados, entre as duas aproximações revelam algumas diferenças embora elas não sejam significantes, pontuando valores para cada rota onde foi aplicada a metodologia.

A “medida” do risco proposta por Pijawka *et al.* (1985) inclui em sua formulação:

- a) probabilidade de um acidente ocorrer.
- b) probabilidade de um rompimento no tanque que transporta o produto perigoso e as consequências de um vazamento ao meio ambiente.
- c) as consequências de um vazamento em termos da população exposta ao risco.

A estimativa (c) é a mais difícil de se quantificar. O domínio sobre a avaliação das consequências requer estimar a extensão e as características da população exposta ao risco e incorpora:

- o tipo de produto perigoso em trânsito (classe de risco) e as propriedades deste (toxicidade, natureza dos efeitos a vida humana, impactos ambientais);
- população exposta ao risco (evacuação / distância por tipo de produto químico, densidade populacional);
- fatores geográficos locais predominantes.

O autor reconhece ser muito difícil obter dados sobre os seguintes aspectos: quantidades de produtos perigosos em trânsito, pessoas envolvidas na manipulação (embarque desembarque e armazenamento) destes produtos, número e severidade dos acidentes que diretamente envolvem produtos perigosos, os riscos e custos subsequentes a sociedade (Pijawka *et al.*, 1985).

Scalon e Cantilli (1985) em seu artigo escrevem que as metodologias para avaliação de riscos tendem ser mais relativas do que formulações absolutas utilizadas por autoridades locais. As diferenças entre estas formulações são debatidas, contudo elas são impraticáveis para um modelo de avaliação de risco absoluto e seguro. O modelo sugerido, a ser aplicado a uma situação real, deve ter a capacidade de determinar a segurança global de um cenário que um acidente pode ocorrer do que a de um simples risco de acidente. Através do modo de transporte de uma rodovia, um modelo é desenvolvido sendo estabelecido um índice de avaliação de segurança à comunidade. Este índice é composto: do índice do estado “**estar preparado**” da população e **índice de risco da comunidade**. O argumento para a utilização deste índice composto é que as técnicas de avaliação não distinguem os dois principais meios de medição da segurança existente (da falta de preparação e do risco), não distinguindo também, as variáveis controladas e as não controladas pela comunidade.

Conforme Scalon e Cantilli (1985), o risco pode ser estimado quantitativamente se à ele for possível associar valores quantitativos, em termos de probabilidades de ocorrência e consequências. A probabilidade de eventos improváveis pode ser estimada em um número de formas. Em alguns casos, o evento é resultante de uma combinação de outros eventos que ocorrem com maior frequência; desta forma o evento em estudo pode ser estimado estatisticamente através de probabilidades combinadas de subeventos que contribuíram para a ocorrência do evento considerado como principal. Em outros casos, técnicas de extrapolação permite a estimação de probabilidades de “não eventos”, com base em eventos previamente tomados como experimentos.

Segundo Scalon e Cantilli (1985) a maioria das formulações de avaliação de risco, possui uma variedade relativa, expressa numericamente, através da qual, cada rota ou mesmo os modos de transporte podem ser avaliados entre si. O resultado final é indicar que a rota A é considerada melhor do que a rota B, ou de outra forma a rota A é mais segura

que a rota B.

Para Scalon e Cantilli (1985) risco absoluto, é uma medida direta do risco, é uma estimativa do número de pessoas que podem ser mortas ou sofrer danos e a quantidade de dinheiro que de fato envolve um dano ambiental. Embora o cálculo do risco absoluto seja o mais desejável entre os usuários acadêmicos, que possuem conhecimentos sobre Estatísticas, ele também é o mais difícil de obter. O ideal é que a medida do risco tenda para um valor absoluto, contudo deve fornecer ao prático, também a sensação da condição de segurança na qual a comunidade se acha, em caso de uma potencial exposição em face de um acidente com produtos perigosos.

Um índice de risco da comunidade (CR) e um índice de preparo da comunidade (CP) são desenvolvidos por Scalon e Cantilli (1985), utilizando-se dos conceitos citados.

O índice de risco da comunidade (CR) proposto é composto de valores tabelados conforme a natureza do tráfego, nível de acidentes, características geográficas de rodovias, condições do pavimento, número de riscos existentes nas margens das rodovias, condições dos dispositivos de controle de tráfego, diversas proporções de veículos que trafegam transportando diversos produtos perigosos, condições de manutenção dos veículos, nível de treinamento dos motoristas incluindo histórico de acidentes e treinamento. O índice de risco a comunidade (CR) exige para a sua determinação os valores: da densidade da população exposta, número de produtos perigosos, (fabricantes, consumidores, armazenadores), valores econômicos das propriedades a serem afetadas, número de estabelecimentos e entidades sensíveis que possam ser afetadas em caso de acidente (tais como escolas, igrejas e hospitais). Ainda é necessário determinar, o índice de capacidade de resposta da comunidade em caso de emergência e o nível de obediência desta comunidade as ordens em caso de uma suposta evacuação por exemplo.

Como podem ser constatadas, tais informações defronta-se com a impossibilidade de obtenção de respostas, devido a não viabilidade das condições em conseguí-las, mesmo no Estado mais rico do Brasil.

Fricke (1992) analisou as áreas críticas de risco para o sistema de abastecimento de água para o município de Campinas devido ao transporte de produtos

perigosos. A metodologia utilizada considera; os acidentes com esses materiais, a identificação das áreas de acidente e a definição de áreas vulneráveis. Os estudos desenvolvidos foram aplicados nas sub-bacias dos rios Atibaia e Capivari por serem os principais sistemas produtores de água para o município de Campinas. A identificação de áreas críticas, nas rotas principais do transporte de produtos perigosos, levou em consideração o trecho que une o terminal marítimo de São Sebastião à Refinaria do Planalto Paulista - REPLAN situada no município de Paulínia. Foram identificadas as áreas vulneráveis, e consideradas de risco emergencial e inaceitável, ou seja, as várias ameaças para o sistema de abastecimento de água por terem dutos da Petrobrás e rodovias com tráfego intenso nas proximidades.

Na metodologia proposta por Rhyne (1994), a formulação do cálculo de risco é a mesma proposta pelos outros autores citados, isto é, a da Equação (1), entretanto para o cálculo da probabilidade de acidentes inclui as variáveis: as forças que atuaram no container (força de impacto, ruptura do tanque, abertura de válvulas, rompimento do tanque quando exposto ao fogo), vinculadas a um tipo de acidente, as probabilidades das condições meteorológicas do trecho de rodovia em estudo, a área impactada e os efeitos à vida humana. Rhyne (1994), analisa em seu artigo, a possibilidade da utilização de um indicador simplificado de riscos em comparação a um completo. O indicador simplificado de riscos assume, que em ambas as rodovias determinadas condições sejam as mesmas (tal como as mesmas condições probabilísticas meteorológicas).

Assim como para Scalon e Cantilli (1985), e proposto por Rhyne (1994), determinados tipos de dados não são disponíveis no Brasil inviabilizando a aplicação da sua metodologia para avaliação de rotas.

Na sequência cronológica do estado da arte das metodologias pesquisadas aparece a proposta validada por Harwood *et al.* (1990). Esta proposta foi aplicada e avaliada nos Estados de Santa Catarina e São Paulo, por Ramos (1997) e Hartman (2003) respectivamente.

Este trabalho considerou a aplicação da metodologia proposta por Harwood *et al.* (1990), em razão de ter sido aplicada por Ramos (1997), da disponibilidade de dados, e a possibilidade de uma melhora da mesma, com duas contribuições. Essas duas

contribuições inovadoras quando introduzidas na metodologia refletem com maior precisão os riscos parciais de cada trecho em análise. No capítulo 4 deste trabalho, há um detalhamento da metodologia proposta por Harwood *et al.* (1990), modificada por Hartman (2003) para atender as necessidades das rodovias brasileiras.

Uma das maneiras de se obter uma avaliação quantitativa do risco de transporte de produtos perigosos por rodovias é por meio de métodos para determinação de curvas de frequência anual do total de acidentes em relação ao número de acidentes devido ao transporte de produtos perigosos. Usando essa metodologia, Cassini (1998), na França, indicou o risco para a sociedade devido ao transporte de produtos perigosos e Leonelli *et al.* (2000) trabalhando na Itália determinaram as melhores rotas para o transporte de amônia.

Real e Braga (2000), fizeram uma proposta para o controle de riscos no transporte rodoviário de produtos perigosos no Brasil, advindos de problemas que ocorram durante o trajeto. A meta proposta era a diminuição dos riscos rodoviários, através de um forte controle e gerenciamento das fontes de perigo.

A inclusão de parâmetros ambientais em modelos de cálculo de risco no transporte de produtos perigosos via rodovias, foi feita por Rueda *et al.* (2002). Os autores apresentaram em seu trabalho um modelo de análise de risco com acidentes em transporte de produtos perigosos baseado em informações anuais de tráfego e acidentes nas rodovias, mapas das rodovias, mapa geológico e mapas de densidade demográfica. O resultado foi a avaliação de risco para as diferentes rotas pelas quais circulam veículos transportando produtos perigosos gerando uma ferramenta útil de planejamento logístico e identificação de pontos de elevado nível de risco.

López e Ordóñez (2003) desenvolveram um modelo para análise de risco que se assemelha ao de Erkut e Verter (1995) na determinação da probabilidade de ocorrência de um acidente, e ao de Brainard *et al.* (1996), no cálculo das vulnerabilidades. Este modelo permite uma análise geral da malha rodoviária, delimitando as áreas de maior risco, em conforme a vulnerabilidade do meio ambiente, dano potencial de cada produto perigoso e diferentes tipos de acidentes.

López (2005) desenvolveu uma metodologia, de caráter determinista, que permite analisar e espacializar os riscos ambientais associados ao transporte de produtos perigosos. O modelo conceitual empregado baseava-se na parametrização da probabilidade de ocorrência de acidentes com transporte de produtos perigosos e da gravidade do dano estimado por potenciais consequências ao homem e ao meio ambiente. Utilizar modelos analíticos clássicos para simular risco associado com o transporte de produtos perigosos e sua inter-relação com o meio ambiente aliada a variedade de produtos e de cenários dinâmicos pode se tornar um procedimento efetivamente complexo. López e Ordóñez (2003) e López (2005) propuseram por essa razão, o estudo e aplicação de modelos empíricos, simplificados, que levem em consideração, dentre outros fatores, a ocorrência de impactos ambientais.

Assim como para outros autores, Dadkar *et al.* (2008), definem que o risco é calculado pelo produto das variáveis; população exposta e taxa de acidentes. O produto destas variáveis calcula o risco de cada trecho da rota em estudo. Para o cálculo do risco total da rota basta somar estes riscos parciais.

Frequentemente quem seleciona a rota para o transporte de produtos perigosos considera como atributos, rodovias com o mesmo desempenho e o menor nível de exposição ao risco da população existente as margens da rota escolhida (Dadkar *et al.*, 2008).

Dadkar *et al.* (2008) desenvolveram metodologia para cálculo do risco no transporte de produtos perigosos cujo valor final é denominado *k*. O algoritmo que é responsável pelo cálculo do valor *k* considera a **menor distância** percorrida, vinculado ao **desempenho** do conjunto de (*facilities*) equipamentos disponibilizados em cada rodovia. Desenvolveram um programa de computador que determina o menor trajeto entre a origem e destino do transporte de produto perigoso entre um conjunto de trajetos disponíveis. O referido programa pondera o tempo de viagem e as consequências de um acidente com produto perigoso onde o transportador indica múltiplos embarques e um conjunto de rotas possíveis que percorrem regiões geograficamente distintas.

Em relação às consequências Dadkar *et al.* (2008) consideraram a exposição da população existentes as margens das rotas. Na metodologia proposta há um estudo

detalhado entre a correlação das rotas e o período do dia em que o transporte for realizado. A correlação estudada é justificada, pois há uma variação do número de pessoas expostas ao longo da rodovia dependendo do período do dia e da rota a ser selecionada. O algoritmo desenvolvido considera o método da propagação – convolução para propagar as médias e variâncias das incertezas dos atributos para roteamento ao longo das rotas e calcula a covariância entre os atributos de roteamento e a qualidade de cada conjunto de equipamentos (*facilities*) disponibilizado por cada rota possível.

Segundo Barilla *et al.* (2009) o transporte de produtos perigosos é problema importante e complexo social e ambiental, que envolve um grande número de parâmetros; econômicos, sociais e ambientais. Geralmente o produto perigoso tem que ser transportado entre os pontos definidos como origem; fabricas e armazenamento e os considerados como destino; fábricas de beneficiamento, armazenamento e distribuição.

Segundo Dadkar *et al.* (2008), o transportador de produtos perigosos escolhe como rota a de menor custo e exposição para a população existente nas margens da rodovia, em caso de acidente com vazamento.

Conforme Dadkar *et al.* (2008), o problema da escolha da rota, surge quando o critério considera simultaneamente o risco e fatores econômicos. Para o selecionador de rotas o transporte precisa ser economicamente viável, por outro lado há a necessidade de que seja suficientemente seguro, minimizando o risco ao longo de todo o processo de transporte.

Durante o planejamento das rotas, a identificação da rota de menor risco entre O (origem) e D (destino) é necessário identificar os fatores de risco (perigos, vulnerabilidade e exposição) para determinar o menor custo e menor risco (Dadkar *et al.*, 2008).

Segundo Dadkar *et al.* (2008), risco pode ser definido como as consequências esperada associadas a uma determinada atividade. Considerando uma atividade um evento com potencial de consequências, o risco R é dado pela probabilidade (P) do evento ocorrer multiplicada pelas consequências da ocorrência do evento (C).

$$R = P * C$$

Para uma atividade com  $n$  eventos

$$R = \sum (P_i * C_i)$$

onde:

$P_i$  e  $C_i$  são a probabilidade e consequência do evento  $i$

Mais genericamente a formula pode ser escrita:

$$R = \sum (P_i * C_i^\alpha)$$

Onde  $\alpha$  é um fator ponderador das consequências (que dependem da percepção social e da gravidade das consequências).

A Equação (1) pode ser escrita:

$$R = P * V * N$$

Onde  $C$  é definido como:

$$C = V * N$$

Onde  $V$  é vulnerabilidade, definida como resistência da população, infraestrutura, prédios, quando ocorrer o acidente.

$N$  é a exposição, definida como a quantidade dos elementos (população e infraestrutura), afetados durante e depois do acidente.

Para Dadkar *et al.* (2008), é importante a minimização do risco com a prevenção. Para isso é necessário reduzir ao máximo os níveis de  $P$  e  $N$ .

A metodologia proposta por Dadkar *et al.* (2008) para selecionar a rota de menor risco é baseada no conjunto de atributos ponderadores: .

- Minimização do tempo de viagem;
- Minimização da distância percorrida;
- Minimização do risco a população;
- Minimização do risco urbano ao meio ambiente;
- Minimização aos riscos naturais – colapso das construções e terremotos.

Dadkar *et al.* (2008) denominaram a metodologia para a seleção da rota de menor risco como Critério de Multianálises (MCA).

A solução do problema da seleção da melhor rota consiste naquela que oferecer

a melhor alternativa resultante da somatória de valores atribuídos ao conjunto estabelecido.

## 4 TÉCNICA ADOTADA PARA GERENCIAMENTO E AVALIAÇÃO DE RISCOS

Como pode ser constatado todos os autores que propuseram metodologias para análise de risco para o transporte de produtos perigosos utilizaram a equação (1). As diferenças entre as metodologias estão nas ponderações das variáveis que compõem a equação (1).

Ainda é constatado que as metodologias propostas por Pijawka *et al.* (1985), Scalon e Cantilli (1985), Harwood *et al.* (1990) e Rhyne (1994) constituem as bases das propostas mais recentemente. As especificidades de cada metodologia estão vinculadas ao enfoque dado à análise de risco e a necessidade da obtenção de um determinado resultado. Embora todas as metodologias propostas têm um objetivo geral, o de analisar a rota de menor risco, pela equação 1, o tratamento de cada metodologia depende diretamente dos dados disponíveis, assim como o público a ser atingido: comunidade, leigos, bombeiros, autoridades, legislação e empresas seguradoras.

$$\text{Risco} = (\text{Probabilidade de Acidente}) * (\text{Consequência do Acidente}) \quad (1)$$

As metodologias ditas como bases sugeridas por Pijawka *et al.* (1985), Scalon e Cantilli (1985), Harwood *et al.* (1990) e Rhyne (1994) foram desenvolvidas em locais diferentes dos EUA, espelhando peculiaridades e realidades de cada local em específico. No Brasil, Ramos (1997), em seu trabalho, as analisou e validou a metodologia proposta por Harwood *et al.* (1990), pois é a que mais se adequou às rodovias do Estado de Santa Catarina. Ramos (1997) justificou a utilização da metodologia em razão da disponibilidade de dados e resultados voltados para a segurança do ser humano, pois refletem a quantidade de pessoas expostas ao risco. Ramos (1997) acrescenta que, no trabalho de Harwood *et al.* (1990), há uma aproximação da realidade das estradas brasileiras, fator este, que decidiu a escolha da metodologia, como teste de validação da metodologia de Harwood *et al.* (1990)

para rodovias brasileiras. Em seu trabalho foram calculados os riscos com valores padronizados dos EUA e com os valores corrigidos pelo teste estatístico Qui-Quadrado, concluindo que os resultados obtidos são muito próximos entre si e válidos.

Toda metodologia de avaliação de riscos tem como propósito obter um resultado numérico relativo ao resultado da equação 1, sendo composta de diversas variáveis, colhidas conforme a disponibilidade de dados ou enfoque a ser dado ao risco calculado. O custo relativo à obtenção dos dados depende também do que se deseja representar com o valor de risco obtido, assim, se é tomada como parâmetro, por exemplo, a condição meteorológica (probabilística) de cada trecho, é muito provável que não se obtenha tal parâmetro para uma rota longa, por questões de custo.

Com vistas à aplicação prática de uma metodologia e a filosofia de prevenção de acidentes, este trabalho adotou como estratégia: (a) propor uma estrutura para gerenciamento de riscos, para o transporte de produtos perigosos, em moldes atuais e que reflita a realidade brasileira – que propicie uma investigação prévia do risco e com uma ação proativa tente eliminá-lo ou minimizá-lo. Essa ação terá como consequência: (a) uma melhor utilização de recursos na obtenção de dados para uma determinada metodologia; (b) adoção de uma metodologia adaptada e utilizada em território brasileiro, em particular no Estado de São Paulo, com a quantidade de dados necessários e suficientes para o cálculo do risco; (c) em razão de que a metodologia testada e validada por Hartman (2003) não contempla o cálculo do risco para as variáveis; faixa etária do condutor e variação da zona de impacto, conforme o período do dia, o que aumentou a sensibilidade do método e do cálculo final o do risco.

Pelo exposto e na ordem acima citada, as etapas são detalhadas a seguir:

#### **4.1 - Uma estrutura para o gerenciamento de riscos.**

Considerando que modernamente a gestão de uma empresa ou serviço é uma gestão integrada em todos os níveis e áreas, da mesma forma os riscos inerentes ao transporte de produtos perigosos devem ser geridos no contexto dessa gestão integrada.

O custo da obtenção da informação sobre o risco, às vezes torna inviável uma avaliação mais precisa, no entanto, é desejável que haja uma minimização ou a eliminação do risco, reduzindo esse custo. É por isso, que se insiste muito em planejamento de ações, antes de qualquer avaliação de um risco.

A proposição da implantação de uma estrutura de gerenciamento de riscos aplicada ao transporte de produtos perigosos não é a remodelação de tudo que já está implantado e funcionando, tendo dispêndio de tempo e recursos. O objetivo é que cada parte envolvida no transporte desse tipo de produto aproveite os recursos e métodos que dispõe melhorando-os de forma contínua.

A estrutura sugerida, neste trabalho, não foi baseada em um único modelo de gestão “**que deu certo**” ou em um único componente, mas sim composta de partes de modelos já existentes e que foram julgados pelo uso, como eficientes e aplicáveis genericamente, sem que os valores fossem perdidos. A premissa básica de partida teve na sua essência que a estrutura deveria ser entendida para todas as partes envolvidas expostas ao risco, amplamente aplicável a todos os produtos perigosos, sendo flexível o suficiente para que pudesse ser adaptada a vários gestores de riscos. A flexibilidade do modelo deveria atender: a órgãos governamentais, industriais dos diversos segmentos, empresas de pequeno porte, com recursos limitados e empresas de grande porte, que já tivessem investido pesadamente e praticado um gerenciamento (ICF, 2000).

A filosofia básica da estrutura é a ***ação informada pela análise***. A análise de riscos, custos, benefícios, possibilidades técnicas e outros itens é necessária para um efetivo gerenciamento do risco, particularmente dentro de um sistema complicado, como o transporte de produtos perigosos, mas a análise não deverá se constituir em um fim por si mesma. A análise fornece informações necessárias a quem toma decisões e planeja, mas por si não reduz o risco. Os riscos são reduzidos por ações, sendo essas ações tomadas a partir das informações geradas pelas análises, que são as verdadeiras bases para um efetivo gerenciamento de riscos. As análises deverão, se dirigidas pela necessidade da informação, subsidiar decisões, as quais deverão ser acompanhadas de ações apropriadas. O valor da informação a ser obtido pela análise precisará ser explícito e dirigido ao início da investigação, em razão da significância do estudo a ser empreendido.

Sete princípios elaborados com abrangência suficientes e abordados com detalhes devem envolver diferentes produtos, modos de transporte e as partes envolvidas com produtos perigosos compondo a filosofia adotada. Estes sete princípios são:

- Comprometimento
- Cultura
- Parceria
- Priorização
- Ação
- Melhora contínua
- Comunicação

Segundo ICF (2000) a aplicação efetiva do gerenciamento de riscos poderá basear-se na estrutura proposta nos sete princípios acima, porém deverá ser por princípio flexível o suficiente para se adaptar às diversas situações, isto é, não existe uma “receita” aplicável a todos os casos.

Se o transporte de produtos perigosos for considerado como uma planta de produtos químicos móvel, as consequências com acidentes são mais complexas e com resultados mais sérios, pois a cada instante essa planta se encontra num ecossistema diferente. Essa peculiaridade leva a proposição de técnicas de gerenciamento de riscos mais planejadas e detalhadas em relação àquelas propostas para indústrias, onde se conhece perfeitamente a biota do entorno.

## **4.2 Aplicação prática de programa de gerenciamento de riscos**

Um dos propósitos deste trabalho, propiciar meios e formas para redução de acidentes, é apresentado a seguir em um modelo de gerenciamento de riscos que está em operação. O modelo apresentado com pequenas alterações poderá ser aplicado pelas várias entidades envolvidas no transporte de produtos perigosos. Às eventuais e necessárias adaptações deverão ser implantadas ao direcional prático sugerido pela Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM (2009).

A Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM (2009) em parceria com a Associação Brasileira da Indústria de Álcalis, Cloro e Derivados – ABICLOR tomou como base o modelo de gerenciamento de riscos desenvolvidos pelas indústrias Dow Química Brasil com início em 2001.

No programa de redução de acidentes contido no programa de gerenciamento de riscos, há de se observar a ênfase dispensada ao condutor do veículo causador de erros humanos sistemáticos, não somente como eventual agente deflagrador do acidente, mas também como vítima do próprio acidente.

O programa, implantado, tem como objetivo prevenir atitudes inseguras no transporte de produtos perigosos por meio da conscientização dos motoristas e é parte de um sistema de gerenciamento de riscos. A meta do programa é a redução a zero no número de acidentes nas estradas com produtos químicos. O conceito básico do programa é de que, antes de um grande acidente, ocorreram várias pequenas falhas nos equipamentos ou nas operações de transporte que não foram comunicadas à empresa. O programa incentiva o motorista a relatar essas ocorrências, possibilitando a adoção de ações preventivas ou corretivas. Um projeto-piloto implantado pela Dow Química do Brasil reduziu os acidentes classificados como sérios de cinco, em 2001, para zero ao final de 2004 (ABIQUIM, 2009).

Segundo a ABIQUIM (2009) um sistema de gerenciamento de riscos que leve as organizações a uma condição ideal próxima ao “nível zero em acidentes”, inclusive na distribuição, é elemento essencial da resposta a esse desafio.

Em linhas gerais, os acidentes no transporte rodoviário podem ter diferentes causas, singulares ou combinadas, tais como:

- problemas tecnológicos, como unidades de transporte sem manutenção adequada ou muito velha;
- problemas de infraestrutura, tais como rodovias mal sinalizadas, mal conservadas ou com falhas estruturais de pavimentação;
- problemas com procedimentos e regulamentações, como aplicação inadequada das legislações e dos procedimentos de gestão;
- problemas de falhas humanas, como comportamentos inadequados levando a

riscos desnecessários por diferentes motivos, incluindo a falta de treinamento ou falta de profissionalismo.

A ABIQUIM (2009) constatou que o comportamento humano é o item mais crítico para a diminuição de riscos de acidentes, o que exige sistemas de análise sobre como os funcionários desempenham suas tarefas. Assim, o programa de gerenciamento de riscos implantado pela Associação Brasileira da Indústria Química / Associação Brasileira da Indústria de Álcalis, Cloro e Derivados – ABIQUIM / ABICLOR é parte de um sistema de gerenciamento de risco para a redução de acidentes, com foco no **comportamento humano**.

Para a ABIQUIM (2009), a velocidade de resposta em relação a resultados positivos é maior quando as empresas apresentam, no mínimo, a etapa de implantação de melhorias tecnológicas e de procedimentos passíveis de avaliações de auditorias, como o Sistema de Avaliação de Segurança, Saúde, Meio Ambiente e Qualidade – SASSMAQ no Brasil.

Segundo a ABIQUIM (2009) a melhoria contínua do programa e seu sucesso estão na comunicação aberta entre todos os envolvidos no transporte rodoviário, como produtores, transportadores e clientes. Mas, acima de tudo, o fundamental é saber ouvir aquele que é o embaixador do produto químico: o motorista.

O sistema de gerenciamento de risco apresentado pela ABIQUIM (2009) indica que acidentes são reduzidos com a implantação de tecnologias mais avançadas, seguido, então, da implantação de leis e procedimentos. Mesmo com procedimentos corretos e um sistema de gerenciamento de segurança excelente, os índices de acidentes tendem a ficar os mesmos, a menos que o homem mude seu comportamento. Esse sistema de gerenciamento de risco inclui programa que considera o “homem e sua atitude”, mostrando uma metodologia de conscientização dos motoristas quanto aos riscos do transporte e como isso afeta o comportamento do dia a dia e os resultados dos acidentes.

O programa implantado pela ABIQUIM (2009) baseou-se no clássico triângulo estatístico de Bird e Fletcher (FIG. 11), que resultou do plano *Total Loss Control*, hoje aplicado nas empresas com o nome de Prevenção Total de Perdas, que é baseado na teoria

de controle de danos, já apresentada no capítulo 3

Nas pesquisas realizadas pela Dow do Brasil foi constatado que ocorrem entre 50 a 100 acidentes menores para cada acidente sério. O sucesso do controle sobre o índice de acidentes é manter a atenção sobre esses acidentes menores e considerá-los importantes, mesmo que suas consequências sejam menores. Este é o segredo da prevenção de qualquer acidente ABIQUIM (2009).

É aí que entra o conceito do “BBP”: “*Behavior Based Program*”

Avaliações de acidentes ocorridos na indústria mostram que 90% ocorrem devido a falhas humanas, por motivos os mais variados, mas que no fundo envolvem um problema comportamental (ABIQUIM, 2009).

Segundo a ABIQUIM (2009) o comportamento humano passa a ser o item mais crítico para a diminuição de riscos de acidentes, o que exige sistemas de análise sobre como os funcionários desempenham suas tarefas.

As etapas de implantação e gestão do programa de gerenciamento de riscos utilizadas pela Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM / ABICLOR estão representadas na FIG. 12 e descritas a seguir:

### **Etapa I: Análise dos acidentes ocorridos**

(Responsabilidade: indústria e transportadora)

- a) Definir a equipe que irá avaliar os acidentes.
- b) Identificar todos os acidentes.
- c) Avaliar causas reais dos acidentes em conjunto com a transportadora.
- d) Classificar os acidentes em sérios ou pequenos/quase acidentes.
- e) Elaborar o triângulo estatístico de Bird e Fletcher (número de sérios e de menores).
- f) Analisar o triângulo estatístico de Bird e Fletcher: verificar se os acidentes menores estão sendo reportados e investigados.

### **Estabelecer os planos de ação:**

- a) Tecnologia e Procedimentos.
- b) Comportamento.

### **Etapa II: Conscientização da Gerência da Transportadora**

(Responsabilidade: indústria)

- a) Nomear o coordenador do programa dentro da indústria.
- b) Reunir-se com a gerência das transportadoras, apresentação do programa evidenciando:
- O entendimento de acidentes pequenos / sérios.
  - A importância de o motorista identificar comportamentos inseguros.
  - A importância de o motorista identificar as condições inseguras no cliente, na estrada e na indústria.
- Apresentar os resultados da avaliação de acidentes (Etapa I).
- c) Definir responsabilidades:
- Transportadoras: ações para a solução dos problemas de comportamento.
  - Indústria: ações para a resolução dos problemas no cliente / indústria.
- d) Elaborar o cronograma de implantação do programa.
- A indústria deve sempre designar uma pessoa ou representante que será o canal de comunicação para reportar situações inseguras ou estabelecer o escalonamento quando necessário.

### **Etapa III: Treinamento dos Motoristas**

(Responsabilidade: transportadora)

- a) Propiciar aos gerentes e motoristas treinamentos especializados para o transporte de produtos perigosos.
- b) Objetivos do treinamento especializado:
- Entender o que são acidentes pequenos ou quase acidentes.
  - Entender que o acidente pequeno deve ser reportado e investigado.
  - Observar todos os eventos.
  - Listar os comportamentos críticos na rodovia.
  - Esclarecer o uso do “*check-list*” de observações na rodovia.
- c) Após dois anos, propiciar reciclagem no treinamento.

### **Etapa IV: Implantação na transportadora**

(Responsabilidade: transportadora)

- a) Coleta e observação dos comportamentos críticos que ocorrem na estrada nas viagens diárias.
- b) Comportamentos inseguros apresentados, estabelecendo padrões para:
- Velocidade acima do limite
  - Velocidade inadequada para o trecho
  - Velocidade menor que a mínima aceitável
  - Não respeitar a sinalização

- Sono, cansaço e falta de atenção
- Dirigir sem cinto de segurança
- Não deixar distância segura do veículo da frente
- Dirigir agressivamente/imprudently
- Ultrapassagens inseguras ou em locais inadequados
- Amarração inadequada da carga – embalada
- Outros

c) Formulário de coleta de observações

d) Melhoria de comportamento: avaliação das observações e acidentes menores e elaboração de planos de ação – responsabilidade da transportadora:

- Consolidar os resultados e apresentá-los à indústria periodicamente.
- Selecionar cinco comportamentos críticos mais frequentes.
- Avaliar os resultados e definir a implantação de planos de ação de melhorias.
- Identificar antecedentes e fatores que estão incentivando os comportamentos inseguros dos motoristas e suas consequências.
- Estabelecer planos para eliminá-los, de forma a desestimular comportamentos inseguros.

Nota: Esta análise é muito particular de cada empresa, pois depende de sua política organizacional e gerencial.

#### **Etapa V: Monitoração e Avaliação da Melhoria de Desempenho: realimentação do programa**

(Responsabilidade: indústria e transportadora)

- a) Indústria monitora a implantação.
- b) Realização de reuniões entre a indústria e transportadora onde são apresentados:
  - Os acidentes e desempenho.
  - O triângulo estatístico de Bird e Fletcher e os resultados das investigações.
  - A comunicação e a priorização de situações inseguras nas instalações e carga/descarga.
  - Os planos de ação de melhorias.

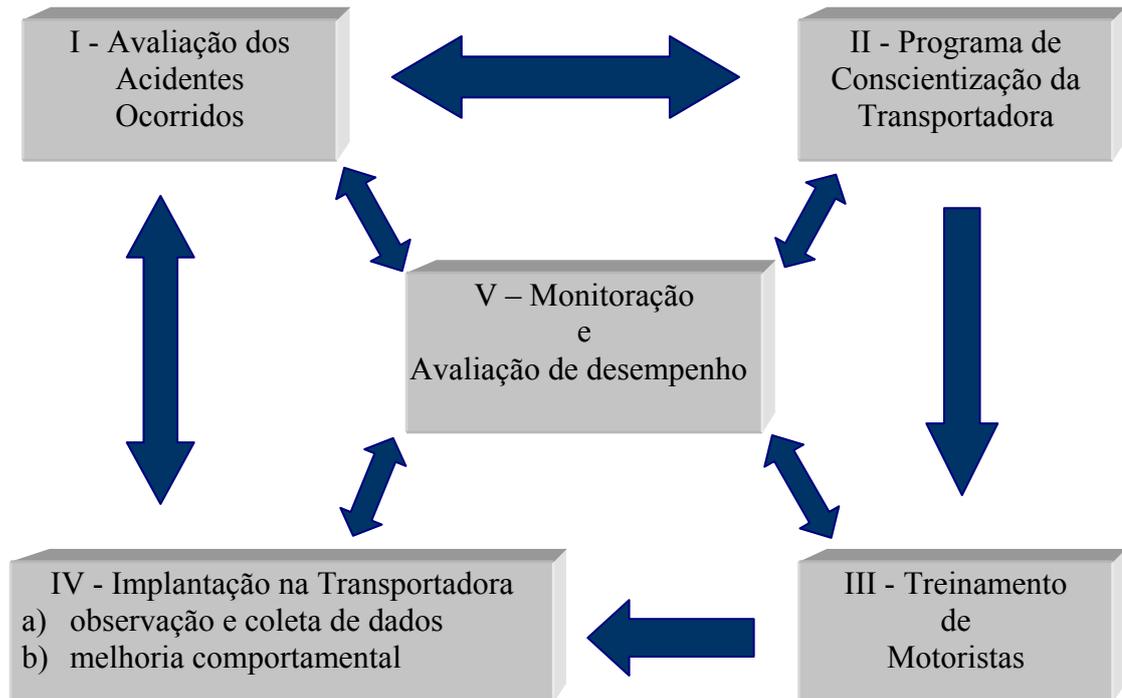


FIGURA 12 - Etapas de implantação e operação do programa de gerenciamento de riscos utilizado pela ABIQUIM / ABICLOR.  
Fonte - ABIQUIM, 2009.

### 4.3 Técnica adotada para avaliação de riscos.

Como citado, Harwood *et al.* (1990), propõem um modelo revisado para probabilidade de acidentes a partir das diretrizes de determinação de rotas para materiais perigosos, Departamento de Transportes dos EUA (DOT). Tal metodologia ainda permite aplicar testes estatísticos baseados em distribuições de Poisson, em áreas de contraste, para determinar as taxas de acidentes baseadas nos dados de localidades específicas ou em valores, abrangendo todo o sistema.

As taxas de acidentes com caminhões disponíveis foram médias ponderadas obtidas durante 20 anos de uma grande malha rodoviária. A malha rodoviária teve seus arquivos combinados de acidentes, rodovias e dados sobre o volume de tráfego. Estes dados incluem informações sobre a porcentagem de caminhões no fluxo de tráfego. Taxas de acidentes para um tipo em específico de rodovia variam de local para local, em razão disso o DOT estimula que cada localidade desenvolva o seu próprio banco de dados, tornando uma análise mais real e específico a cada segmento de rodovia.

- **Determinação de taxas de acidentes para caminhões**

Segundo Harwood *et al.* (1990) o elemento chave para comparação de riscos para escolha de rotas de transporte de produtos perigosos é ter dados confiáveis sobre a taxa de acidentes com caminhões, para possibilitar a utilização do cálculo da probabilidade de um produto perigoso quando vazar. Os efeitos dos tipos de rodovia, área e taxas de acidentes com caminhões precisam ser considerados nos estudos. Por exemplo, uma rodovia com velocidade livre, geralmente tem menores taxas de acidentes do que outros tipos de rodovias com velocidades controladas, assim como vias urbanas têm maior incidência de acidentes, do que rodovias rurais. Essas diferenças entre rodovias e tipos de áreas são bem relacionadas à taxa de acidentes para todos os tipos de veículos. Há de se observar que para caminhões esse mesmo estudo (relativo a taxas de acidentes) fica restrito a um número limitado de trechos de rodovias secundárias. Para melhorar as características das taxas de acidentes utilizadas como valores padrões (para transporte de Produtos Perigosos), devem ser considerados os efeitos dos tipos de rodovia e área de cada caso em estudo.

As análises das taxas de acidentes requerem três tipos de dados: **configuração da rodovia, volume de tráfego, e registros de acidentes**. Para uma análise ser realizada eficientemente esses dados tem que estar disponíveis de uma forma computadorizada, utilizando parâmetros referenciais comuns tal como identificadores de posição na rodovia (postes de quilometragem), desse modo os três tipos de dados poderão ser inter-relacionados (Harwood *et al.*, 1990).

Harwood *et al.* (1990) utilizaram os arquivos sobre a configuração das rodovias para definir as características de trechos de rodovias aos quais os volumes do tráfego de caminhões e taxas de acidentes puderam então ser adicionados. Arquivos sobre a configuração de trechos numa rodovia da ordem de 0,35 milhas ou menores foram também incluídos na base de dados referenciados. Os dados extraídos dos arquivos relativos à configuração de uma rodovia (ou trecho desta) foram:

- Número de pistas
- Estrutura das pistas (dividida ou não dividida)
- Controle de acesso (uma mão ou duas mãos)
- Tipo de área (urbana ou rural)

Para a obtenção dos arquivos sobre o volume de tráfego de caminhões, Harwood *et al.* (1990) utilizaram a **Média Anual Diária de Tráfego (AADT)**, com a média diária do volume de caminhões ou a porcentagem de caminhões no fluxo de tráfego.

Para classificar os acidentes, Harwood *et al.* (1990) consideraram: **quantidade e tipo de veículos envolvidos, o tipo de colisão (de que forma) e a severidade do acidente (sendo maior quando houver danos)**. As características sobre a rodovia e o tráfego associadas com esses acidentes foram obtidas por Harwood *et al.* (1990) a partir dos dados relativos à configuração da rodovia (ou trecho) e ao volume de tráfego. Cada acidente envolvendo um veículo foi tratado com uma observação separada (i.e., um acidente envolvendo dois caminhões foi contado como dois acidentes).

### **Processamento dos Dados**

Harwood *et al.* (1990) conduziram o processamento dos dados em uma série de **cinco** passos mostrado na FIG.13.

O elemento-chave no processamento foi a interconexão apropriada entre o volume de caminhões e dados de acidentes para um segmento (em particular) obtidos de arquivos sobre a configuração da rodovia com a utilização de referenciais comuns de localização (postes de quilometragem). Cada passo da conexão de dados desses arquivos é descrito a seguir:

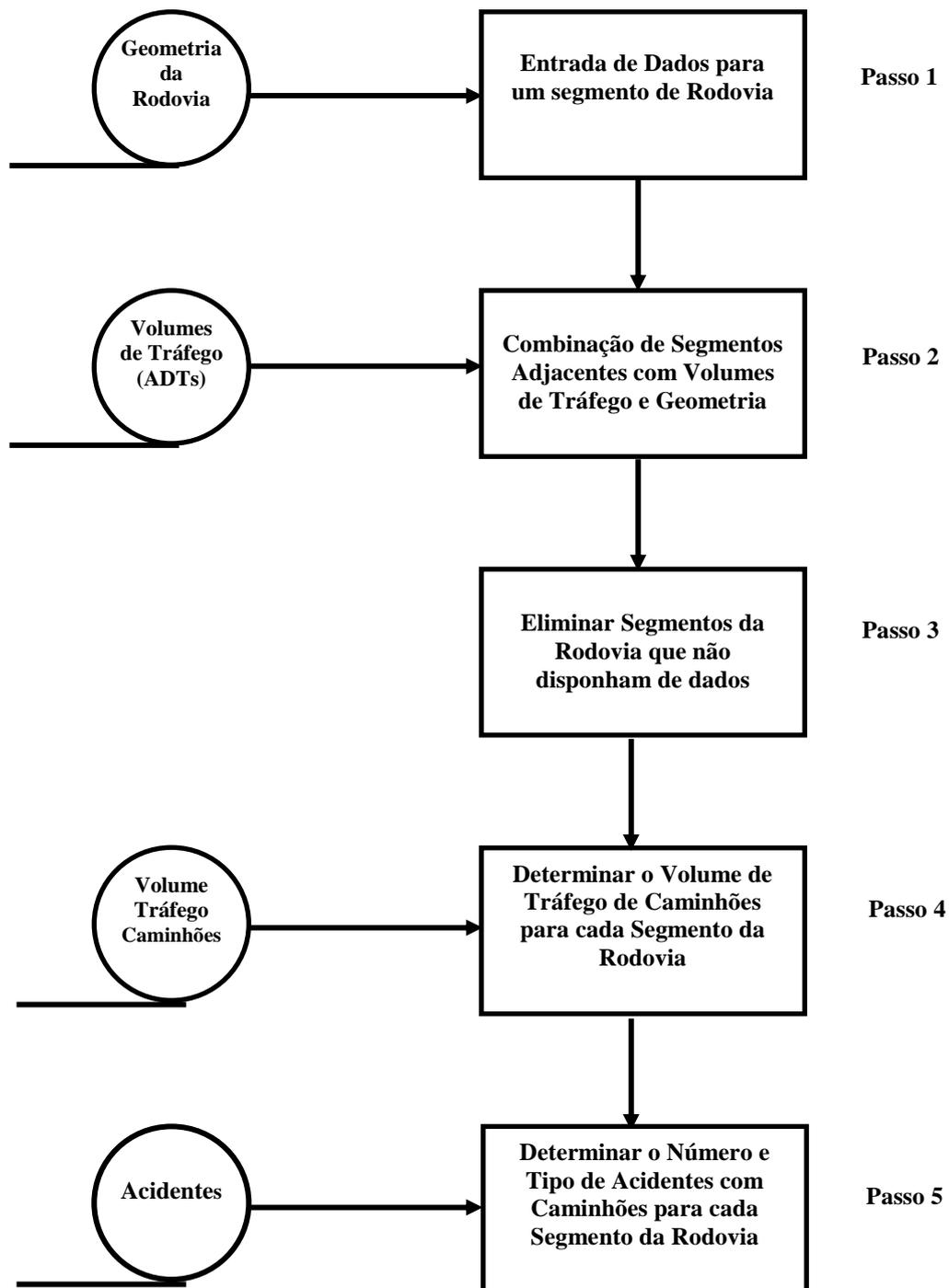


FIGURA 13 - Processo passo a passo para mesclar dados da geometria das rodovias, volumes de tráfego e dados sobre acidentes.

Fonte - Harwood *et al.*, 1990.

**Passo 1:** Os dados necessários para segmentos individuais da rodovia foram obtidos de arquivos sobre a configuração da rodovia. A classe da rodovia (tipo de rodovia e tipo de área) de cada segmento foi determinada a partir de dados disponíveis. As rodovias são classificadas como apresentado na TAB. 5.

TABELA 5 – Classificação de rodovias para aplicar a metodologia proposta.

Classificação de rodovias
Rural - rodovia de duas faixas
Rural - rodovia de multifaixas não divididas
Rural - rodovia multifaixas divididas
Rural - rodovia com velocidade livre
Urbana - ruas de faixas
Urbana - ruas multifaixas não divididas
Urbana - ruas multifaixas divididas
Urbana - ruas de mão única
Urbana - ruas sem limite de velocidade

Fonte – Harwood *et al.*, 1990

**Passo 2:** Segmentos da rodovia que são relativamente curtos foram combinados com segmentos extensos, isto é; se os segmentos adjacentes coincidirem com a classe da rodovia e a média diária de volume de tráfego (ADT) estiver entre 20% da outra. Quando os segmentos adjacentes de rodovia foram combinados, os volumes combinados (ADT) foram ponderados segundo a média pelo comprimento deste segmento conforme a equação 2.

$$ADT_c = \frac{ADT_1 L_1 + ADT_2 L_2}{L_1 + L_2} \quad (2)$$

**Onde :**

**$ADT_c$  = média diária do volume de trafego no segmento combinado**

**$ADT_i$  = média diária do volume de trafego no Segmento de Rota  $i$  ( $i = 1, 2$ )**

**$L_i$  = comprimento em milhas do Segmento de Rota  $i$  ( $i = 1, 2$ )**

**Passo 3:** Para qualquer segmento de rodovia para o qual o volume de caminhões ou o volume de acidentes não estavam disponíveis ou que não se ajustassem a uma classe de rodovia anteriormente descrita, os dados foram eliminados desta análise. A base de dados usada para análise foi completa e somente 0,2 % de segmentos de rodovia foram eliminados por falta de dados (Harwood *et al.*, 1990).

**Passo 4:** Os volumes de caminhões para as seções combinadas foram obtidos a

partir dos arquivos de volume. O dado sobre o volume de caminhões foi usado para o comprimento do segmento, para computar a quantidade anual de viagens dos caminhões, isto para cada segmento (veículo \* milha), conforme a equação 3.

$$TVMT_i = TADT_i * L_i * 365 \quad i = 1,2 \quad (3)$$

Onde :

$TVMT_i$  = número de viagens (veículos \* milhas) por ano (via caminhões) no Segmento de Rota i

$TADT_i$  = média diária do volume de tráfego (em veículos por dia) no Segmento de Rota i

$L_i$  = comprimento em milhas do Segmento de Rota i

**Passo 5:** Dados sobre acidentes com caminhões foram obtidos dos arquivos de acidentes. Cada acidente com caminhão envolvido foi classificado por ano, severidade do acidente e tipo. Um sistema de localização comum a todos, que conecta o acidente ao arquivo sobre a configuração da rodovia foi usado para determinar em qual segmento insidia maior índice de acidentes por local, por ano, por nível de severidade e por tipo de acidente. O resultado do passo 5 foi um arquivo contendo o volume de caminhões e o histórico individual de cada segmento de rodovia, o que possibilitou determinar as taxas de acidentes e probabilidades de vazamento (Harwood *et al.*, 1990).

#### Análise de dados

O cálculo da média da taxa de acidentes com caminhões para cada classe de rodovia foi computada como a relação do total de acidentes com caminhões, pelo total de veículos por milha (por viagens) para cada classe de rodovia, conforme apresentado na equação (4).

$$TAR_j = \sum_i \frac{A_{ij}}{VMT_{ij}} \quad (4)$$

Onde :

$TAR_j$  = taxa média de acidentes com caminhões para uma Rodovia Classe j

$A_{ij}$  = número de acidentes em um ano no Segmento de Rota i na Rodovia Classe j

$VMT_{ij}$  = viagens anuais em veículos \* milhas no Segmento de Rota i na Rodovia Classe j

Este procedimento foi aplicado para todos os arquivos do sistema de rodovias estaduais (Califórnia, Illinois, e Michigan), no que diz respeito a configuração da rodovia, volume de tráfego e acidentes, os quais puderam ser referenciados pelos postes de

sinalização de distância existentes nas rodovias. Nas TAB. 6 e 7 é mostrado as taxas de acidentes e a distribuição por tipo de acidente. Tabelas similares foram preparadas para as rodovias dos Estados de Illinois e Michigan (Harwood *et al.*, 1990).

Na TAB. 8 é mostrado taxas médias de acidentes para cada classe de rodovia em cada Estado, sendo ponderada pela média de três Estados (Harwood *et al.*, 1990).

As taxas de acidentes apresentadas na TAB. 8 são apropriadas para uso como valores padrões para o estudo de roteamento de locais onde não houver dados disponíveis.

TABELA 6 – Taxas de acidentes com caminhões nas rodovias do Estado da Califórnia – EUA – período 1985 – 1987.

(1)		(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Classe da Rodovia		Comprimento	Nº de seções	Média	Nº de	Viagens efetuadas (MVM)	Taxa de
Tipo de Área	Tipo de Rodovia	total (milhas)		de caminhões (veículos / dia)	acidentes envolvendo caminhões <sup>a</sup>		acidentes c/ caminhões <sup>b</sup> (por MVM)
Rural	Duas pistas	8 808,96	2 607	392	6 577	3 781,16	1,74
Rural	Multipistas não divididas	209,13	334	858	1 070	196,48	5,45
Rural	Multipistas divididas	726,85	450	1 839	1 801	1 463,66	1,23
Rural	Velocidade livre	2 068,20	405	4 791	5 759	10 850,08	0,53
<b>Rural</b>	<b>TOTAL</b>	<b>11 813,14</b>	<b>3796</b>	<b>1 970</b>	<b>15 207</b>	<b>25 482,71</b>	<b>0,60</b>
Urbana	Duas pistas	513,49	648	748	1 778	420,58	4,23
Urbana	Multipistas não divididas	141,50	341	1 116	2 251	172,92	13,02
Urbana	Multipistas divididas	754,18	793	1 644	4 996	1 357,66	3,68
Urbana	Rua de mão única	22,26	47	1 387	223	33,81	6,60
Urbana	Velocidade livre	1 969,65	817	8 395	28 860	18 106,06	1,59
<b>Urbana</b>	<b>TOTAL</b>	<b>3401,08</b>	<b>2 646</b>	<b>2 658</b>	<b>38 108</b>	<b>9 898,88</b>	<b>3,85</b>
<b>TOTAL</b>		<b>15214,22</b>	<b>6 442</b>	<b>2 314</b>	<b>53 315</b>	<b>38 550,25</b>	<b>1,38</b>

<sup>a</sup> Acidentes envolvendo dois ou mais caminhões são considerados como dois ou mais acidentes

<sup>b</sup> Valor obtido da equação (4)

(6)=[(2)\*(4)\*3\*365]/1 000 000

(7) = (5) / (6)

Nota: Embora a TAB. 6 tenha sido elaborada entre 1985 e 1987 é utilizada por diversos pesquisadores, até a presente data.

Fonte – Harwood *et al.*, 1990.

TABELA 7 – Distribuição por tipo de acidente com produtos perigosos com caminhões na malha rodoviária Estado da Califórnia – período 3 anos.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
Percentagem de envolvimento em acidentes												
Classe da Rodovia		Acidentes sem colisão com um único veículo			Acidentes com colisão c/ um único veículo					Acidentes c/ colisão c/ múltiplos veículos		
		Saída de estrada	Capotagem	Outros	Colisão c/ veículo estacionado	Colisão c/ trem	Colisão c/ não motorizados <sup>a</sup>	Colisão c/ objetos fixos	Colisão c/ não veículos	Colisão c/ Carros de passageiros	Colisão c/ caminhões	Colisão c/ Outros veículos
Tipo de Área	Tipo de Rodovia											
Rural	Duas pistas	4,5	6,6	4,4	2,4	0,0	0,6	7,0	5,7	29,8	26,6	12,4
Rural	Multipistas não divididas	3,6	7,5	3,9	4,3	0,0	0,4	7,5	5,7	27,4	26,1	13,7
Rural	Multipistas divididas	3,6	4,0	3,8	3,9	0,0	0,2	6,1	4,7	33,4	26,4	13,8
Rural	Velocidade livre	3,5	3,3	3,8	3,8	0,0	0,4	7,4	5,0	31,3	22,3	19,4
<b>Rural</b>	<b>TOTAL</b>	<b>3,9</b>	<b>5,1</b>	<b>4,1</b>	<b>3,2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,5</b>	<b>7,1</b>	<b>5,3</b>	<b>30,6</b>	<b>24,9</b>	<b>15,3</b>
Urbana	Duas pistas	1,5	2,6	3,4	3,6	0,0	0,3	5,1	3,9	39,6	30,7	9,3
Urbana	Multipistas não divididas	0,2	0,6	2,6	8,5	0,0	0,8	5,1	4,0	41,3	30,1	6,9
Urbana	Multipistas divididas	0,8	1,3	2,4	7,0	0,0	0,6	5,7	3,8	43,7	28,1	6,6
Urbana	Rua de mão única	0,0	2,2	0,9	9,4	0,0	1,3	6,3	2,2	45,7	27,4	4,5
Urbana	Velocidade livre	0,6	1,0	1,3	1,9	0,0	0,2	3,2	1,7	50,6	25,6	13,9
<b>Urbana</b>	<b>TOTAL</b>	<b>0,6</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	<b>3,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,3</b>	<b>3,8</b>	<b>2,2</b>	<b>48,6</b>	<b>26,4</b>	<b>12,3</b>
<b>TOTAL</b>		<b>1,6</b>	<b>2,3</b>	<b>2,3</b>	<b>3,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,4</b>	<b>4,7</b>	<b>3,1</b>	<b>43,4</b>	<b>26,0</b>	<b>13,1</b>

<sup>a</sup> não motorizados que incluem; pedestres, bicicletas e animais.

Fonte – Modificado - Harwood *et al.*, 1990.

TABELA 8 - Taxas de acidentes combinadas com caminhões.

(1)	(2)	
Taxa de acidente de caminhões (acidente por milhão veículo milha)		
Classe da Rodovia		
Tipo de Área	Tipo de Rodovia	
Média Ponderada		
Rural	Duas pistas	2,19
Rural	Multipistas não divididas	4,49
Rural	Multipistas divididas	2,15
Rural	Velocidade livre	0,64
Urbana	Duas pistas	8,66
Urbana	Multipistas não divididas	13,92
Urbana	Multipistas divididas	12,47
Urbana	Rua de mão única	9,70
Urbana	Velocidade livre	2,18

(2) veículo milha por viagem de caminhão

Fonte – Modificado - Harwood *et al.*, 1990

Os dados mostrados na TAB. 8 indicam o efeito de duas variáveis chaves para o roteamento, por tipo de **rodovia** e por tipo de **área** em relação aos acidentes ocorridos com

caminhões. Segundo Harwood *et al.* (1990) neste estudo foi avaliada uma relação entre os fatores de volume de tráfego (AADT e porcentagem de caminhões) e taxas de acidente, mas os resultados obtidos não foram consistentes. Considerações dos efeitos adicionais das variáveis geométricas (incluindo largura das pistas, largura dos acostamentos, rampas, intersecções e saídas) sobre taxas de acidentes estavam além do escopo deste estudo.

Conforme Harwood *et al.* (1990), nos estudos anteriormente relatados, para determinar o incremento de uma característica estatística sobre a taxa de acidentes, obteve-se um conjunto de resultados e não um grupo de relações entre as variáveis geométricas e as taxas de acidentes amplamente aceitas.

Pesquisa realizada, neste trabalho constatou que a parte probabilística das diretrizes emitida pelo DOT (1990), referente ao roteamento de produtos perigosos, é baseada inteiramente na probabilidade de acidentes. Naturalmente um acidente envolvendo o transporte de produtos perigosos não tem em si um potencial catastrófico de consequências, a menos que haja um vazamento. Assim, a metodologia de avaliação do risco, implicitamente, assume que o vazamento dos produtos perigosos tenha igual probabilidade de vazar em todos os casos.

Segundo Harwood *et al.* (1990 o estudo feito pela “*Federal Highway Administration – FHWA*” mostrou que a probabilidade de um produto perigoso vazar varia significativamente com o tipo de acidente.

A TAB. 9 foi elaborada a partir de dados fornecidos pela “*Federal Highway Administration – FHWA*”, na qual é mostrada que as probabilidades de vazamento são altas quando se trata de um acidente como um único veículo sem que tenha havido colisão com outro veículo e são baixas quando os acidentes ocorrem entre múltiplos veículos. Além disso, várias classes de rodovias têm padrões distintos de acidentes. Por exemplo, a percentagem média (0,292) de acidentes com vazamento, envolvendo um único veículo sem colisão é maior do que a média (0,114) de percentagem de acidentes envolvendo um único com colisão. Conforme Harwood *et al.* (1990), os valores padronizados foram calculados por meio da equação 5.

$$P(A | R)_j = \sum_k P(A | R)_k * P(k)_j \quad (5)$$

Onde:

$P(A | R)_j$  = probabilidade de vazamento de produto perigoso dado um acidente transportado por caminhão em uma Rodovia Classe j

$P(A | R)_k$  = probabilidade de vazamento de produto perigoso dado um Acidente do Tipo k

$P(k)_j$  = probabilidade de um acidente em uma Rodovia Classe j e ser acidente com caminhões para cada tipo de acidente apresentado na **TAB. 9**, em uma Rodovia Classe j

Referente ainda à TAB. 9, os dados que a originou continham informações sobre a ocorrência de vazamento ou não do produto perigoso transportado, informações de grande importância quando comparadas com dados semelhantes disponíveis nos Estados norte-americanos: Louisiana, Missouri e Wyoming. Segundo Harwood *et al.* (1990), essa comparação permitiu ao DOT utilizar a TAB. 9.

TABELA 9 - Probabilidade de vazamento, em função do tipo de acidente.

(1)	(2)
Tipo de Acidente	Probabilidade de Vazamento
Acidentes sem colisão c/ um único veículo	
Saida da rodovia	0,331
Capotamento (na rodovia)	0,375
Outras não colisões	0,169
Acidentes com colisão com um único veículo	
Colisão com veículo estacionado	0,031
Colisão com trem	0,455
Colisão com não motorizados	0,015
Colisão com objetos fixos	0,012
Outras colisões	0,059
Acidentes com colisão com múltiplos veículos	
Colisão com carros de passageiros	0,035
Colisão com caminhão	0,094
Colisão com outro veículo	0,037

Fonte – Harwood *et al.*, 1990.

A probabilidade de vazamento de produto perigoso dado um tipo de acidente varia entre as classes de rodovias porque ela varia com o tipo de acidente e o tipo de distribuição de acidente entre as classes de rodovias. Por exemplo, na TAB. 7 é mostrado que a proporção de um acidente envolvendo um único veículo sem colisão (comumente resultando em vazamento do produto) é perto de 50% mais alta em uma rodovia rural de duas pistas do que em uma rodovia rural de velocidade não controlada. A probabilidade de vazamento dado um acidente envolvendo produtos perigosos, transportados por veículo em uma classe particular de rodovia, pode ser computada pela equação (5) (Harwood *et al.*, 1990).

Segundo Harwood *et al.* (1990), as probabilidades existentes na TAB. 10 são apropriadas para utilização como valores padrões nos estudos de roteamento de transporte de produtos perigosos, se os dados necessários para o local em estudo não forem confiáveis ou não estiverem disponíveis.

TABELA 10 - Probabilidade de vazamento de produto perigoso dado um acidente que tenha ocorrido em função da classe da rodovia.

(1)		(2)
Classe da Rodovia		Média
Tipo de Área	Tipo de Rodovia	Ponderada
Rural	Duas pistas	0,086
Rural	Multipistas não divididas	0,081
Rural	Multipistas divididas	0,082
Rural	Velocidade livre	0,090
Urbana	Duas pistas	0,069
Urbana	Multipistas não divididas	0,055
Urbana	Multipistas divididas	0,062
Urbana	Rua de mão única	0,056
Urbana	Velocidade livre	0,062

(2) ponderada veículo milha por viagem de caminhão.  
Fonte – Harwood *et al.*, 1990

### Procedimentos revisados para determinação de probabilidade de acidentes

Nas diretrizes do DOT (1990), a probabilidade de um acidente com produtos perigosos deve ser computada no modelo de avaliação de risco obtido da equação 6.

$$P(A)_i = AR_i * L_i \quad (6)$$

Onde :

$P(A)_i$  = probabilidade de acidente com produtos perigosos em um Segmento de Rota  $i$

$AR_i$  = taxa de acidente para todos os tipos de veículos\* milha no Segmento de Rota  $i$

$L_i$  = comprimento em milhas do Segmento de Rota  $i$

Conforme Harwood *et al.* (1990), a disponibilidade de taxas de acidentes com caminhões e a probabilidade de vazamentos permitem estimar probabilidade de um acidente com produtos perigosos no qual ocorra vazamento. A probabilidade de acidente com vazamento deverá ser obtida a partir da equação 7, que substitui a equação 6 proposta:

$$P(R)_i = TAR_i * P(R/A)_i * L_i \quad (7)$$

Onde :

$P(R)_i$  = probabilidade de acidente com produtos perigosos em um Segmento de Rota  $i$

$TAR_i$  = taxa de acidente com veículo\* milha no Segmento de Rota  $i$

$P(R/A)_i$  = probabilidade de vazamento de um produto perigoso dado um acidente transportado no Segmento de Rota  $i$

$L_i$  = comprimento em milhas do Segmento de Rota  $i$

A equação 7 é mais apropriada para análise de roteamento de produtos perigosos do que a equação 6, em razão de: **(a)** – o risco é baseado na probabilidade de um vazamento, o que é melhor do que se basear em uma simples taxa de acidente; **(b)** – o risco é baseado na taxa de acidentes com caminhões, o que é melhor do que uma taxa baseada em taxas de acidentes ocorridos com todos os veículos. A equação 7 mantém uma proporcionalidade do risco e o comprimento do segmento de rota, o qual é central para toda a análise de rota.

Na TAB. 11, são mostrados valores típicos de taxas de acidentes e probabilidades de vazamentos trazidos da TAB. 8 e 10, que podem ser usados como valores padrões na equação 7. Entretanto, os usuários são encorajados a desenvolver valores padrões para cada região em específico. Um aspecto chave da TAB. 11 é que

ambas as taxas de acidentes com caminhões e probabilidades de vazamentos variam com o tipo de área (urbana ou rural) e o tipo de rodovia.

TABELA 11 - Taxas padronizadas de acidentes com vazamentos tendo ocorrido um acidente dado uma classe de rodovia, para utilização na análise de roteamento do transporte de produtos perigosos.

(1)		(2)	(3)	(4)
Classe da Rodovia		Taxa de acidente com caminhões (milhão veículo * milha)	Probabilidade de vazamento dado um acidente	Taxa de acidente com vazamento (vazamento por (milhão veículo * milha))
Tipo de Área	Tipo de Rodovia			
Rural	Duas pistas	2,19	0,086	0,19
Rural	Multipistas não divididas	4,49	0,081	0,36
Rural	Multipistas divididas	2,15	0,082	0,18
Rural	Velocidade livre	0,64	0,090	0,06
				0,00
Urbana	Duas pistas	8,66	0,069	0,60
Urbana	Multipistas não divididas	13,92	0,055	0,77
Urbana	Multipistas divididas	12,47	0,062	0,77
Urbana	Rua de mão única	9,70	0,056	0,54
Urbana	Velocidade livre	2,18	0,062	0,14

(2) obtido da TAB. 8; (3) obtido da TAB. 10; (4) = (2) \* (3).

Fonte – Harwood *et al*, 1990.

O DOT (1998) e a “*National Academy of Sciences*” – NAS (1994) incentivam os usuários a desenvolver sempre que seja possível dados próprios, locais onde reflitam com maior fidelidade as taxas de acidentes àquele local. As diretrizes propostas não levam em consideração a necessidade de tomarem-se precauções em relação a taxas de acidentes, utilizadas na avaliação de riscos, obtidas de pequenas amostras de eventos (acidentes), o que é típico ocorrerem em pequenos trechos de rodovias. Por exemplo, considere três trechos de rodovia de 0,5 milhas como possíveis alternativas de rotas. Supor que em um período de 3 anos, para um dos segmentos, não houve acidentes com caminhões nesse período de avaliação. Em outro segmento houve um acidente e no terceiro ocorreram dois acidentes com caminhões. Para tratar o primeiro segmento como isento de risco de um vazamento de produtos perigosos, seria certamente incorreto, mas essa conclusão poderia ser tomada, usando taxas de acidentes de um local em específico, calculadas pela equação 6. Presumir que o terceiro segmento tem duas vezes mais risco seria também incorreto. Harwood *et al*. (1990) revisaram as diretrizes para que incorporassem um período mínimo

ou um mínimo número de acidentes necessários e estabeleceram taxas confiáveis de acidente. Embora haja disponibilidade de valores padrões para taxas de acidentes, é mais confiável o desenvolvimento de taxas específicas do local em estudo, que contemplem um grande número de dados sobre acidentes e que abranjam um longo período de tempo. Uma exceção deve ser considerada na utilização dos valores obtidos localmente, quando as taxas forem muito altas ou muito baixas em relação aos valores padronizados.

Conforme Harwood *et al.* (1990) a taxa de acidente é uma variável randômica não sendo conveniente presumir-se um valor para essa taxa. O procedimento sugerido é a aplicação de teste estatístico para verificar se a diferença entre a taxa local observada (muito alta ou muito baixa) e a taxa padronizada é estatisticamente significativa.

Segundo Harwood *et al.* (1990) na maioria dos casos, deverá ser usado com o valor de Taxa de Acidentes com veículos milha no segmento  $R_i - TAR_i$ , na equação, e as taxas de acidentes mostradas na TAB. 11 ou preferivelmente a média de valores obtidas pelos próprios usuários. Contudo, um simples procedimento estatístico, baseado no teste Qui-Quadrado pode ser usado para determinar se o valor real obtido para frequência de acidentes relativo a um segmento de rota, em particular, é suficientemente grande ou pequeno, em comparação com o número esperado da frequência de acidente. Esse procedimento garante a substituição do valor padrão da taxa de acidentes com caminhões por taxas baseadas para um local em específico (em que haja um histórico de acidentes). A seguir esta a descrito passo a passo, o procedimento a ser seguido:

**Passo 1:** Obter a taxa de acidentes para um segmento de rota em específico. Os dados de acidentes deverão cobrir um longo período de tempo, se possível não introduzir efeitos externos causados por tráfego, configuração da rodovia ou alterações operacionais. Essa frequência de acidentes observada é referida como  $A_0$ .

**Passo 2:** Computar o número esperado de acidentes com caminhões, para um mesmo período de tempo, utilizando taxas, valores padrões de acidentes para uma grande malha rodoviária, tal como apresentado na TAB. 11. A frequência esperada para acidentes com caminhões pode ser calculada pela equação 8.

Se  $A_e \geq 5$ , obtidos do teste Qui-Quadrado dado no Passo 3A, o valor de  $A_e$  deverá ser usado.

$$A_e = \text{TAR} * \text{TADT} * L * 365 * N * 10^{-6} \quad (8)$$

Onde:

$A_e$  = número de acidentes esperado com caminhões

TAR = taxa de acidente esperada com caminhões (acidentes por veículo\*milha)  
com base na Tabela 11

TADT = taxa média de tráfego de caminhões (veículos por dia)

$L_i$  = comprimento em milhas do Segmento de Rota i

N = duração do período de estudo em anos

$10^{-6}$  = por milhão de veículos

Se  $A < 5$  significa que a dimensão da amostra tomada é muito pequena, quando utilizado o teste Qui-Quadrado. O procedimento adotado será o indicado no Passo 3B.

**Passo 3A:** Se  $A_e \geq 5$ , compare o número de acidentes esperado, com o número de acidentes obtido com o teste estatístico Qui-Quadrado usando a equação 9.

$$X^2 = \frac{(A_e - A_0)^2}{A_e} \quad (9)$$

Onde:

$X^2$  = variável estatística qui - quadrado

$A_e$  = número de acidentes esperado com caminhões

$A_0$  = número observado de acidentes

Se  $X^2 \leq 4$ , então o número de acidentes esperado e o número de acidentes observado não diferem significativamente, estando em um nível de significância de 5%. Podendo, dessa forma, serem utilizados dados padronizados obtidos a partir de uma grande malha rodoviária, em lugar dos dados de acidentes de um local em específico.

Se  $X^2 > 4$ , então o número esperado de acidentes difere significativamente do número de acidentes observado. Esse resultado indica que a taxa de acidente é bem menor ou bem maior do que 5% em nível de significância, relativamente a dados tomados com padrões obtidos a partir de uma grande malha rodoviária. Nesse caso, os valores de taxas

de acidentes, adotados como padrões (obtidos a partir de uma grande malha rodoviária), deverão ser substituídos por dados que gerem taxas de acidentes do local em específico em análise. Se a taxa de acidentes é menor que 50 % dos valores padrões obtidos a partir de uma grande malha rodoviária, 50 % destes valores padrões deverão ser utilizados. A última restrição é baseada em um julgamento e é incluída para manter muito baixa a probabilidade de acidentes, especialmente para que não haja acidentes na rodovia ou que a falta de relatórios dos acidentes que houve gere resultados que não reflitam a realidade. Mesmo se no segmento de rodovia não tenha havido acidentes durante o período de estudo, existirá ainda o risco no transporte de produtos perigosos, sendo recomendado que se adote 50 % da taxa de acidentes do valor padrão (obtidos a partir de uma grande malha rodoviária).

**Passo 3B:** Uma alternativa para o procedimento é baseada na distribuição de Poisson, sempre que  $A_e < 5$ , em razão de que o teste Qui-Quadrado não é aplicado nas amostras de acidentes de pequenas dimensões. A TAB. 12 apresenta valores críticos para a distribuição de Poisson para testar a significância entre o número esperado de acidentes.

TABELA 12 - Valores críticos da distribuição de Poisson.

(1)	(2)
	Valores
Frequência de acidente esperada ( $A_e$ )	críticos de $A_0$ para um nível significante de 5%
1,00	4
1,50	5
2,00	6
2,50	6
3,00	7
3,50	8
4,00	9
4,50	9

Fonte – Harwood *et al.*, 1990.

Se  $A_0$  excede a um valor crítico dado na TAB. 12, para conhecer o valor de  $A_e$ , então a frequência esperada e observada difere significativamente. Nesse caso, o valor padrão (obtido a partir de uma grande malha rodoviária) deverá ser substituído pela taxa de acidentes do local em específico (em estudo), sendo calculada pela equação 10.

Se  $A_e < 5$  for adotado, o valor padrão da taxa de acidentes não deverá ser decrementado, em razão de a dimensão da amostra disponível ser raramente adequada para indicar uma taxa verdadeira de acidentes menor do que o valor esperado (Harwood *et al.*, 1990).

$$TAR = \frac{A_0 * 10^{-6}}{TADT * L * 365 * N} \quad (10)$$

Onde :

TAR = taxa de acidentes esperada com caminhões (acidentes por veículo \* milha)  
com base de dados na Tabela 8

$A_0$  = número observado de acidentes

TADT = média diária de tráfego de caminhões - veículos por dia

L = comprimento em milhas do Segmento de Rodovia

N = duração do período de estudo em anos

#### **4.4 Estudo e adaptação da variável largura da zona de impacto no cálculo do risco**

Havendo acidente com vazamento de produto químico há o risco de ocorrer uma evacuação da população que ocupa as áreas no entorno do acidente. A evacuação é necessária porque o produto químico é tóxico podendo se propagar pelo ar. Mesmo se o produto químico for um líquido e atingir o solo poderá se evaporar dispersando o produto no ar. Caso ocorra explosões, grandes quantidades do produto podem ser liberadas de uma única vez. Havendo vento, seja qual for a intensidade, a população que estiver na direção dessa corrente de ar poderá inalar o produto liberado com danos ao organismo. Considerando as probabilidades de intoxicação, ações deverão ser adotadas quanto à distância entre o acidente e a população. Deverá ser considerada uma distância segura (radial ao acidente) que possibilite a evacuação da população ou que esta fique em local protegido ao evento até o perigo passar.

Existem certos limites práticos de quantas pessoas podem ser evacuadas e a distância da evacuação. Por meio estatístico foram determinadas as concentrações máximas de exposição que o ser humano pode estar sujeito para os quais os danos ao organismo são reversíveis. Os estudos nesse sentido consideram o tempo de exposição, a concentração e o tipo de produto químico.

Conforme pesquisas realizadas pelo “*Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration*” - PHMSA (2008), alguns produtos químicos são perigosos, pois quando inalados interferem com o metabolismo das pessoas. Outros irritam os olhos e as vias aéreas dificultando a respiração. Os produtos como o tetra cloreto de benzeno e o tetra cloreto de carbono são sabidamente cancerígenos ou são suspeitos de o ser. Alguns gases, tais como o metano, não são tóxicos em si, mas são perigosos se as suas concentrações no ar forem altas o suficiente para que uma explosão ou um fogo possam ocorrer ou se o gás deslocar o oxigênio. Cabe observar que a dose tolerada varia com o biótipo e o estado de saúde de cada indivíduo, pois são diferentes entre si. Um adulto saudável poderia ser exposto a um produto químico com segurança por um período de tempo especificado sem nenhum efeito sério a curto ou a longo prazo (à exceção, talvez, de um odor desagradável ou de uma irritação menor). Mas, a mesma situação poderia ter sérios efeitos a longo prazo para indivíduos sensíveis, incluindo crianças e pessoas idosas, cuja respiração esteja debilitada ou sob efeito de medicamentos. Ainda podem ocorrer efeitos de sinergia devido à exposição de longo prazo a outros produtos químicos como os adquiridos por fumantes que respiram a fumaça de tabaco.

A inalação não é a única rota de exposição. O produto químico pode ser absorvido pela pele, ser ingerido ou atingir o abastecimento de água. Isso é particularmente verdadeiro se o produto químico for um particulado ou um aerossol e se fixar na terra ou for misturado com a chuva ou à roupa, podendo tornar-se contaminada. Alguns produtos químicos são convertidos com o tempo em materiais inofensivos ou tornam-se demasiadamente diluídos para se tornarem preocupantes, mas outros, tais como o chumbo e o mercúrio, são persistentes e podem se acumular no corpo.

A quantidade total de produto químico ingerido pela pessoa é definida como dose. Por exemplo, se uma pessoa beber 2 litros da água durante um dia e essa água estiver contaminada com 0,001 miligramas de mercúrio por litro (uma parte por bilhão), a ingestão de mercúrio dela para esse dia é 0,002 miligramas. Com o tempo, parte desse mercúrio será eliminada do corpo, mas algum mercúrio permanecerá no corpo e se acumulará. O mercúrio, em especial, o metilmercúrio, tem uma afinidade com o tecido do cérebro e isso pode resultar em tremores musculares e em mudanças de personalidade. Podendo, também, ocorrer danos aos rins. Outro exemplo, se uma pessoa inala ar que contém uma média de 300 partes por milhão (ppm) de sulfeto de hidrogênio (ácido

sulfídrico – H<sub>2</sub>S) por 10 minutos. Supondo uma taxa de respiração média de um adulto de 20 litros/minuto, a dose total de sulfeto inalada é de  $20 \cdot 10 \cdot 300 \cdot 10^{-6} = 0,06$  litros. O sulfeto de hidrogênio mesmo que em uma concentração muito baixa inalada por um tempo longo (por exemplo: 1 parte por milhão - ppm por 25 horas) é inofensiva, mas é um risco de morte se inalado na concentração de 300 ppm por 10 minutos, mesmo que a dose total seja a mesma. A exposição a concentrações muito elevadas pode resultar na paralisia do centro respiratório do cérebro, em apneia, em colapso repentino e na morte (PHMSA, 2008).

#### 4.4.1 Desenvolvimento das distâncias de isolamento

O U.S. Department of Transportation – “Pipeline and Hazardous Materials Safety Transportation” – DOT (2008) publicou o “*Emergency Response Guidebook*”. Esse manual de procedimentos foi resultado de estudos estatísticos sobre distâncias seguras para quem atende de imediato e a população existente as margens da rodovia quando na ocorrência de um acidente com produtos perigosos.

No citado guia existem tabelas que determinam distâncias protetoras iniciais de isolamento para produtos: venenosos / tóxicos por inalação, gasosos e sólidos que reagem com a água produzindo gases tóxicos.

O DOT (2008) define duas distâncias (zonas) importantes para os primeiros 30 minutos logo após o acidente, ambas considerando o arraste da substância pelo vento (isto é, a favor do vento):

- Distância (zona) de isolamento inicial - é definida como uma área ao redor do vazamento na qual as vidas da população exposta ficam em perigo;
- Distância (zona) de ação protetora - é definida como uma área (a favor do vento) na qual a população pode estar incapacitada ou inabilitada para tomar a ação de proteção e/ou sofrer graves e irreversíveis efeitos na saúde.

Há de se considerar que ambas as distâncias são resultados de dados históricos relativos a acidentes ocorridos e são calculadas por meio de modelos matemáticos estatísticos. Dessa forma em condições extremas (de tempestades e ventos em altas velocidades, furacões), a propagação da nuvem tóxica é mais rápida (menor do que 30

minutos), levando necessariamente a uma revisão nas distâncias propostas pelo DOT (2008).

Na FIG. 14 é mostrado como são identificadas as distâncias sugeridas pelo DOT (2008), cujos valores estão no “*Emergency Response Guidebook*”.

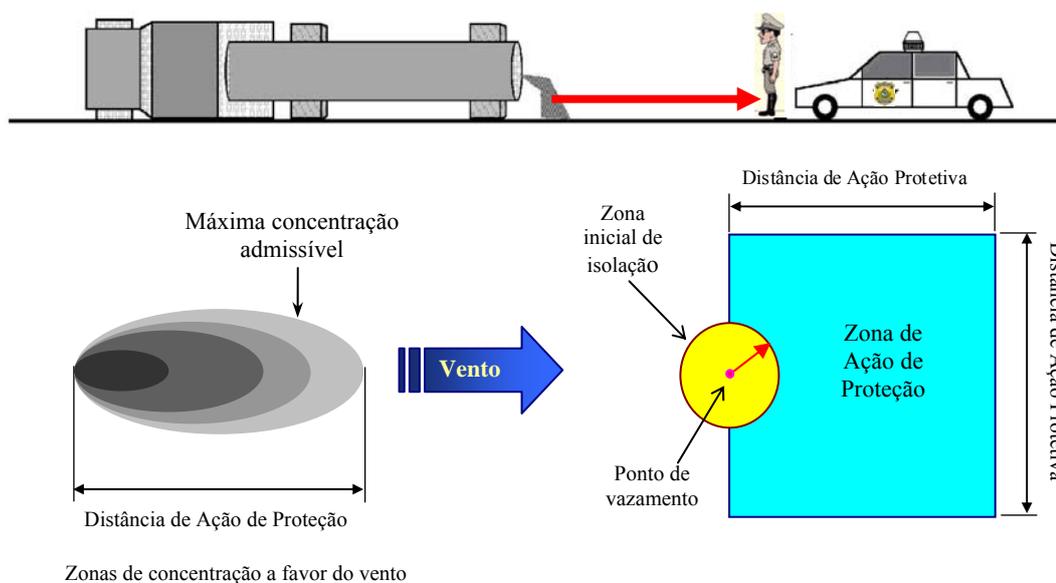


FIGURA 14 – Como são convencionadas as distâncias existentes no Emergency Response Guidebook, 2008

Nas tabelas apresentadas pelo DOT (2008), existem distâncias para o período diurno e noturno, para pequenos vazamentos (menor ou igual a 200 litros para líquidos e menores ou iguais a 300 quilogramas para sólidos derramados na água) e para grandes vazamentos (maiores que 200 litros para líquidos e maiores que 300 quilogramas para sólidos derramados na água). A variação das distâncias vinculadas aos períodos noturno, diurno e volume transportado se justifica em razão da quantidade de gases tóxicos liberados e a concentração dessas substâncias no ar, que pode atingir as pessoas nas zonas determinadas pelo DOT (2008).

A diferenciação das zonas de impacto entre o dia e a noite é justificada pela diferença de dispersão dos gases tóxicos durante o período diurno e o noturno (DOT, 2008). Os modelos de dispersão foram testados com diversos tipos de produtos químicos com diferentes pressões de vapor. Sendo a temperatura durante o dia normalmente maior que a noite, há uma evaporação do produto que vazou mais rapidamente, “levando” os gases tóxicos para grandes altitudes, promovendo assim uma dissipação maior da nuvem

tóxica. Contudo a temperatura ambiente para o período noturno é usualmente menor, fazendo com que a nuvem de gases tóxicos fique mais próxima do solo. Havendo uma corrente de ar, essa nuvem é arrastada por uma distância maior em relação ao ponto no qual houve a liberação do produto.

Na metodologia proposta por Harwood *et al.* (1990), a zona de impacto do vazamento do produto perigoso ao longo de uma rodovia de 0,3 milhas ( $\cong$  0,48 km) é constante e independente do produto, do volume transportado e do período do dia. A densidade populacional é diferenciada entre zonas urbanas e rurais. Segundo esses autores, a densidade não é função da zona de impacto, visto que este último fator é constante ao longo de toda a rodovia.

Na realidade, cada produto transportado tem uma zona de impacto própria que está condicionada ao tipo e volume do produto, período do dia em que está sendo realizado o transporte. A densidade populacional varia ao longo de toda a rodovia, por conseqüência tem-se variação da zona de impacto.

As considerações feitas na metodologia pelos autores Harwood *et al.* (1990) são pertinentes, pois são similares a da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2000), com os riscos no entorno de um possível acidente com produtos perigosos.

O licenciamento de operação a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2000) considera plantas industriais que os riscos para a comunidade e para o meio ambiente, circunvizinhos e externos aos limites do empreendimento, estão diretamente associados às características das substâncias químicas manipuladas, suas respectivas quantidades e à vulnerabilidade da região onde a instalação está ou será localizada. Pelo exposto, é possível considerar um caminhão tanque ou container transportando produto perigoso como uma miniplanta de armazenamento industrial móvel. Assim, é perfeitamente possível adotar critérios similares ao da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB para avaliar os riscos de vulnerabilidade às populações existentes as margens das rodovias.

#### **4.4.2 Conclusões sobre o estudo da influência da variável largura da zona de impacto**

### **no cálculo do risco**

Como contribuição ao aprimoramento da metodologia sobre o estudo da influência da zona de impacto no cálculo do risco, deverão ser ponderados os itens: tipo de produto químico, densidade da população existente as margens por trecho, período do dia que houver o transporte e volume transportado, de forma que se escolha o trecho que tenha o menor risco relativo.

## **4.5 Estudo da influência da faixa etária do condutor na ocorrência de acidentes no transporte de produtos perigosos**

A seguir será abordada a influência da faixa etária do condutor nos estudos de cálculo de risco

Hartman (2003), constatou que havia uma correlação entre acidentes com produtos perigosos e a faixa etária do condutor. O autor afirmava a necessidade de um estudo mais detalhado em razão da inexistência de um conjunto de dados históricos que comprovasse a correlação ao longo do tempo.

Este trabalho foi uma continuação do trabalho de mestrado onde além do estudo da variável da influência da zona de impacto no cálculo do risco foi ratificado a correlação entre faixa etária do condutor e acidente com produtos perigosos conforme mostrado na FIG. 15.

Incorporando a faixa etária do condutor como um dos fatores ponderadores de risco resultante da metodologia original torna o risco mais refletido, com mais precisão à realidade do evento transporte.

Para que o trabalho de pesquisa fosse eficiente antes da coleta, organização e tratamento dos dados relativos a faixa etária do condutor e acidentes foi realizada pesquisa sobre a existência de trabalhos semelhantes. O constatado foi a existência de trabalhos, na Austrália e nos EUA, descritos a seguir, que correlacionaram a faixa etária do condutor com acidentes em geral e não especificamente com acidentes com o transporte de produtos perigosos.

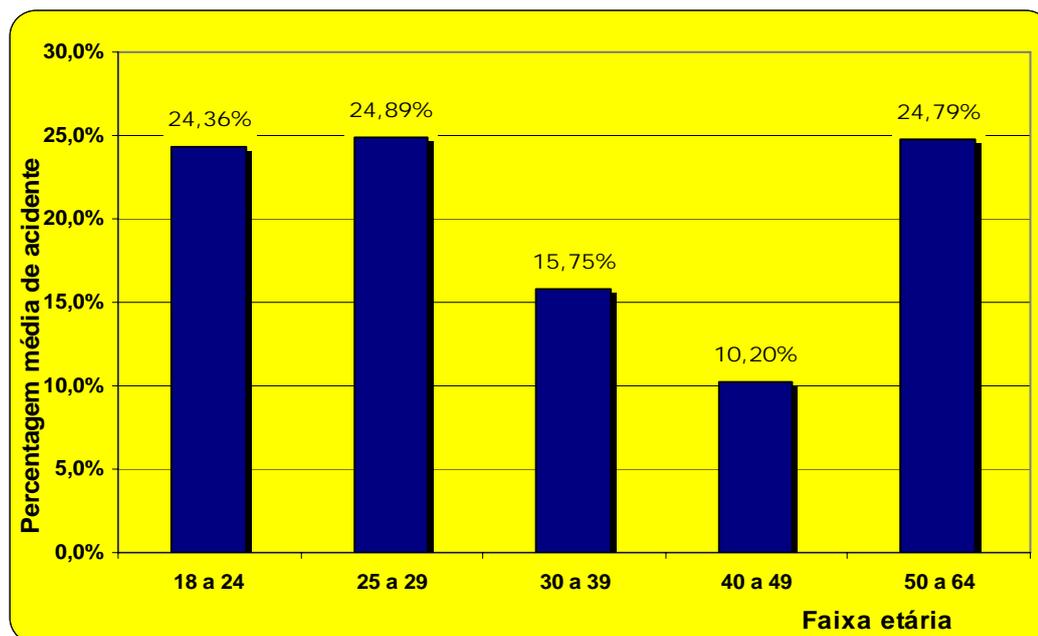


Figura 15 – Percentagem de acidentes com produtos perigosos ocorridos no Estado de São Paulo por faixa etária do condutor. Fonte: Valor extraído exclusivamente, para este trabalho dos boletins de ocorrência da Polícia Rodoviária, DER e RAIS – Ministério do Trabalho. Período 2004 - 2007

No Estado de Victoria na Austrália e no Estado de Connecticut, EUA, houve levantamentos sobre a correlação da faixa etária do condutor e o índice de acidentes. Embora, não correlacione acidentes com produtos perigosos a distribuição percentual é semelhante a obtida por Hartman em 2003 e a deste trabalho.

Na Austrália a “*Transport Accident Commission*” – TAC, um órgão do governo do Estado de Victoria 1986, foi criado em 1985 para pagar o tratamento e benefícios às pessoas feridas em acidentes durante o transporte. Este órgão estadual, também está envolvido na melhoria da segurança nas rodovias do Estado de Victoria. As informações utilizadas para a implantação do sistema de benefícios foi por meio de dados fornecidos pelos motoristas na época do licenciamento anual de veículos no Departamento de Estradas de Rodagens do Estado de Victoria. Como incentivo ao relato fiel e de todos os acidentes a TAC, indeniza o condutor das despesas médicas decorrentes do acidente sem que ele seja penalizado, mesmo que ele, condutor, tenha sido o agente causador do acidente. O resultado foi a obtenção de um banco de dados que ajudasse a melhorar as condições de segurança nas rodovias, o que incluiu o estudo da correlação entre acidentes de faixa etária dos condutores. (TAC, 2009). Tal estudo é mostrado na FIG. 16.

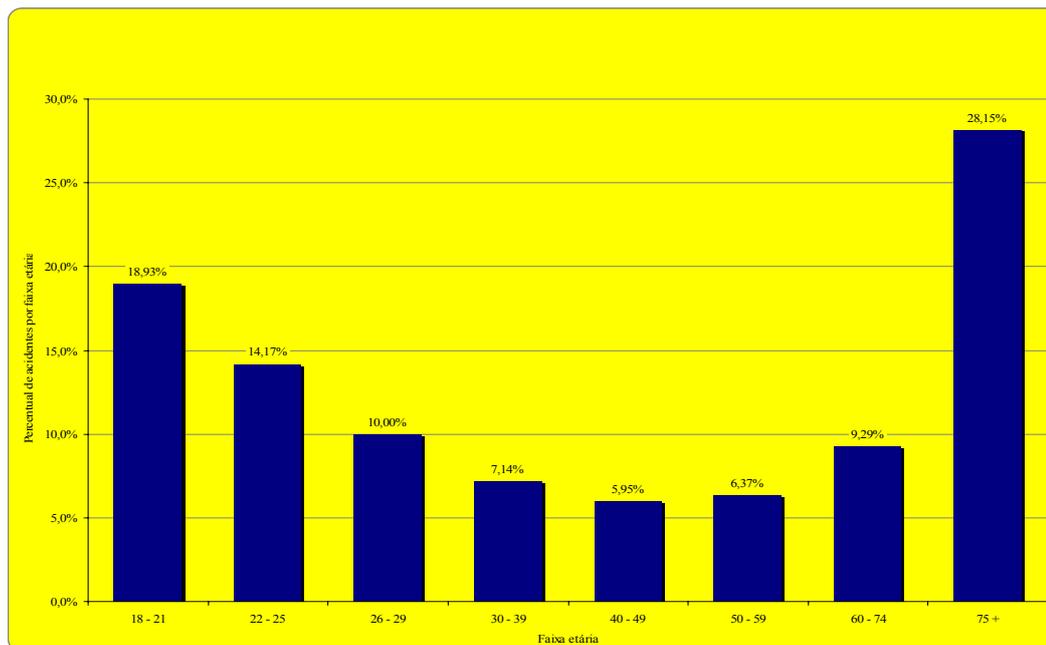


FIGURA 16 - Distribuição de acidentes ocorridos com condutores por faixa etária no Estado de Victoria, Austrália, no ano de 2007. Fonte – TAC, 2009.

No Estado de Connecticut, EUA, que é um grande polo da indústria seguradora, a prestação de serviços financeiros e imobiliários respondem por mais de 28% do PIB do Estado, empregando aproximadamente 231 mil pessoas. Hartford é o centro financeiro do Estado, sendo o maior centro da indústria de seguros dos Estados Unidos e o segundo maior do mundo (atrás somente de Londres). Em 2003, o Estado de Connecticut tinha 33.939 quilômetros de vias públicas, das quais 557 quilômetros eram rodovias interestaduais, parte do sistema rodoviário federal dos Estados Unidos (Fazzalato, 2002).

No Relatório Anual de Segurança de 2007 emitido pelo Estado de “*Connecticut Department of Transportation, Bureau of Policy and Planning Transportation Safety Section*”, é explicitada a missão desse departamento que é a de promover um sistema de transportes seguro, eficiente a um custo razoável. Esse órgão também está empenhado em salvar vidas e minimizar os danos causados por acidentes com o transporte, reduzindo o número e a severidade que ocorrem no sistema viário. No relatório de 2007, consta que as colisões diminuíram 9,2% entre 2001 e 2005 e que motoristas nas faixas etárias de 25 a 34 e 16 a 20 causaram mais acidente do que os das demais faixas etárias (Fazzalato, 2002).

A cultura da segurança no Estado de Connecticut levou a criação de um grupo de pesquisa, apartidário, não fiscalizador, a partir da Assembléia Geral do Estado. Esse grupo de pesquisas denominado OLR, encabeçado pelo analista James J. Fazzalano, publicou em seu relatório nº 2002-R-0021 dados importantes sobre o número de acidentes ocorridos nas rodovias estaduais e a correlação desses acidentes com a faixa etária do condutor. Tal correlação pode ser vista na FIG. 17 (Fazzalano, 2002).

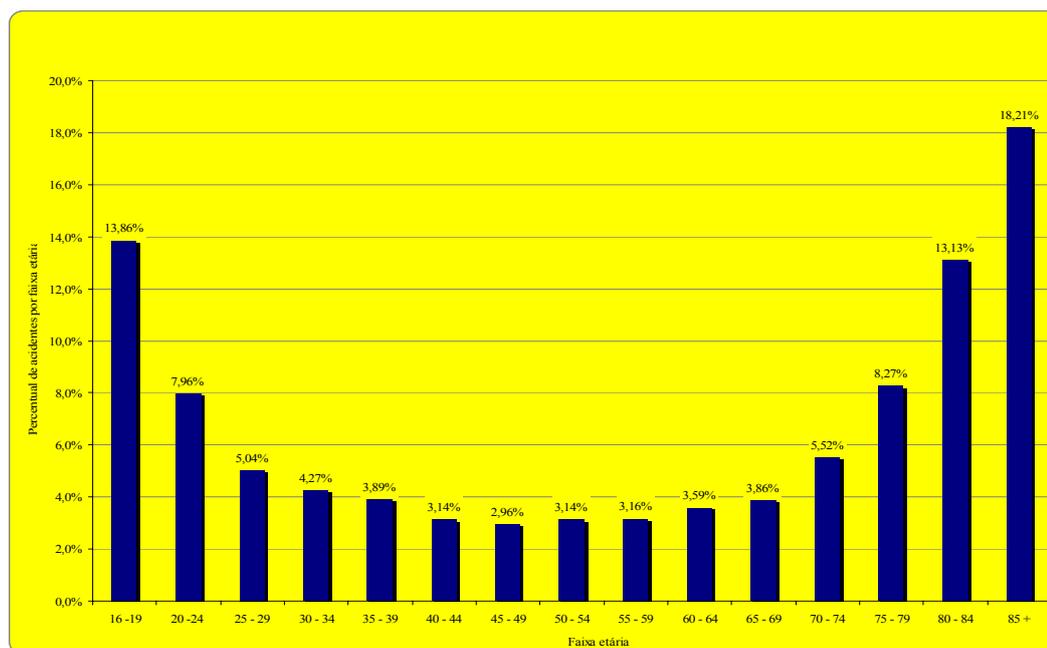


FIGURA 17 - Distribuição de acidentes ocorridos com condutores por faixa etária no Estado de Connecticut, EUA. Período 2001 – 2005. Fonte – Fazzalano, 2002.

Como podem ser observadas nas FIG. 15, 16 e 17, as distribuições de acidentes entre faixas etárias são semelhantes, justificando a pesquisa realizada neste trabalho.

#### 4.5.1 Desenvolvimento das distribuições de acidentes por faixa etária

Para a obtenção do fator de ponderação do risco relativo à faixa etária do condutor mostrado na FIG. 15, para este foram adotados os procedimentos:

1 Para que o fator de ponderação refletisse o risco vinculado à faixa etária do condutor na malha rodoviária do Estado de São Paulo, buscaram-se informações históricas sobre acidentes ocorridos durante o transporte de produtos perigosos nos órgãos responsáveis em planejar, fiscalizar, atender emergências para esse tipo de evento. A

pesquisa foi realizada no Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER, nas Polícias Rodoviárias Estadual e Federal, na Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, no Sindicato das Empresas de Transporte de Cargas de São Paulo – SETCESP, no Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo – DETRAN-SP e no Ministério do Trabalho – MT.

2 - Constatou-se no Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER – Polícia Rodoviária Estadual a existência de 1.575 Planilhas de Cadastro de Acidentes de Trânsito com Produtos Perigosos de acidentes envolvendo o transporte de cargas perigosas (com vazamento do produto) referentes ao período de 2004 a 2007. Para extrair as informações necessárias, das Planilhas de Cadastro de Acidentes de Trânsito com Produtos Perigosos (modelo no anexo I) foram transcritos para uma planilha eletrônica, resultando em 163.800 células digitadas. Após a digitação, os acidentes com vazamento foram separados por ano, faixa etária do condutor, rodovia e produto químico transportado. Esses procedimentos permitiram a geração das tabelas indicadas como obtidas a partir da fonte Araujo e Marchini, (2009), incluindo a TAB.13. Uma nota importante: os intervalos das classes não são iguais entre si em razão de que os dados obtidos da RAIS também não o são. A variação dos intervalos seguiu a mesma da RAIS para que fosse possível o cálculo dos fatores ponderadores de idade do condutor.

TABELA 13 - Distribuição de acidente por faixa etária do condutor. Acidentes ocorridos no Estado de São Paulo.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Faixa	Ano			
Etária	2004	2005	2006	2007
18 a 24	29	11	7	10
25 a 29	51	16	14	19
30 a 39	72	33	18	31
40 a 49	53	22	12	20
50 a 64	68	31	18	29
Totais	273	113	69	109

Fonte – Dados extraídos para este trabalho dos boletins de ocorrências da Polícia Rodoviária e DER (adaptados de Araujo e Marchini, 2009).

3 – No Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo – DETRAN-SP foi obtido banco de dados sobre todos os motoristas habilitados (4.775.474 até o final de 2007), que incluía os (107.895) com habilitação especial para conduzir cargas perigosas. Para separar os habilitados para conduzir cargas perigosas, do total, por faixa etária, foi elaborado um programa para computador que “lesse” o banco de dados e o transformasse em planilha eletrônica. Feita a conversão, foi possível desenvolver a TAB. 17, cuja utilização vai ser justificada ao longo deste trabalho, por isso a sua não inclusão logo após este item.

4 – Para obter o número de condutores que efetivamente estivessem trabalhando foi consultado o banco de dados do Ministério do Trabalho – MT e a Relação Anual de Informações Sociais – RAIS. Esse procedimento resultou nos valores constantes na TAB. 14. O processamento e extração dos dados referentes aos condutores do Estado de São Paulo somente pode ser feito no Serviço Federal de Processamento de Dados – SERPRO, pois o tipo e o detalhamento necessários dos dados não estão disponíveis ao público em geral.

TABELA 14 - Condutores com registro em carteira que transportam produtos perigosos no Estado de São Paulo.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Faixa Etária	Ano			
	2004	2005	2006	2007
18 a 24	251	257	267	285
25 a 29	403	377	485	608
30 a 39	1124	1128	1135	1176
40 a 49	1180	1182	1191	1210
50 a 64	643	687	709	724
Totais	3601	3631	3787	4003

Fonte – Dados pesquisados e extraídos do banco de dados do Ministério do Trabalho – RAIS. Relativos somente ao Estado de São Paulo (adaptados de MTE, 2009).

5 – O passo seguinte foi combinar os dados das tabelas 13 e 14, resultando na TAB. 15. Para se obterem as colunas (2), (4), (6) e (8) da TAB. 15, o número de acidentes de cada faixa etária foi dividido pelo número de condutores efetivamente registrados,

mostrados nas colunas (2), (3), (4) e (5) das tabelas 13 e 14, respectivamente. Exemplo:  $29/251 = 0,166$ .

6 Ainda na TAB. 15, foi feita uma divisão entre número de acidente por condutor e o número de acidentes total por condutor, obtendo-se a probabilidade por faixa etária por ano – exemplo  $0,116/0,457=25,29\%$  – percentual de acidentes que envolveram em 2004 condutores com faixa etária entre 18 e 24 anos. Na mesma TAB. 15, foi calculada a probabilidade média para o período de 2004 a 2007, por faixa etária. A coluna (10) representa a probabilidade média de acidentes por ano. Para verificar a dispersão de dados, calculou-se o desvio padrão.

TABELA 15 - Evolução de acidentes por condutor.

Faixa Etária	Ano										Desvio padrão
	2004		2005		2006		2007		Probabilidade média por faixa etária		
	Acidentes por	Probabilidade por faixa etária									
	condutor	%	condutor	%	condutor	%	condutor	%			
18 a 24	0,116	25,29	0,043	24,01	0,026	24,64	0,035	23,50	24,36	0,67	
25 a 29	0,127	27,70	0,042	23,81	0,029	27,13	0,031	20,93	24,89	2,73	
30 a 39	0,064	14,02	0,029	16,41	0,016	14,90	0,026	17,66	15,75	1,39	
40 a 49	0,045	9,83	0,019	10,44	0,010	9,47	0,017	11,07	10,20	0,61	
50 a 64	0,106	23,15	0,045	25,32	0,025	23,86	0,040	26,83	24,79	1,41	
Totais	0,457		0,178		0,106		0,149				

(2) = coluna (2) da TAB. 13 / coluna (2) da TAB. 14

(4) = coluna (3) da TAB. 13 / coluna (4) da TAB. 14

(6) = coluna (4) da TAB. 13 / coluna (6) da TAB. 14

(8) = coluna (5) da TAB. 13 / coluna (8) da TAB. 14

Fonte – Cálculos efetuados a partir de dados obtidos da TAB. 13 e TAB. 14

(3) = [(2) / 0,457] \* 100

(5) = [(2) / 0,178] \* 100

(7) = [(2) / 0,106] \* 100

(9) = [(2) / 0,149] \* 100

(10) = [(2) + (4) + (6) + (8)] / 4

A TAB. 16 é o resumo dos cálculos efetuados na TAB. 15. Considerando que a faixa etária entre 40 a 49 é a que apresenta a menor probabilidade de acidente normalizaram-se os valores por essa faixa, gerando o valor normalizado por faixa etária.

Nas FIG. 18 e 19 é mostrado com mais detalhes o que ocorre com a variação da probabilidade de acidente vs. faixa etária do condutor:

TABELA 16 - Probabilidade de acidente normalizada para a faixa etária de 40 a 49 anos.

(1)	(2)	(3)
	Probabilidade média por faixa etária %	Valor normalizado na faixa etária 40 a 49
Faixa Etária		
18 a 24	24,36	2,39
25 a 29	24,89	2,44
30 a 39	15,75	1,54
40 a 49	10,20	1,00
50 a 64	24,79	2,43

$$(3) = (2) / 10,20$$

Fonte – Dados obtidos da TAB. 15.

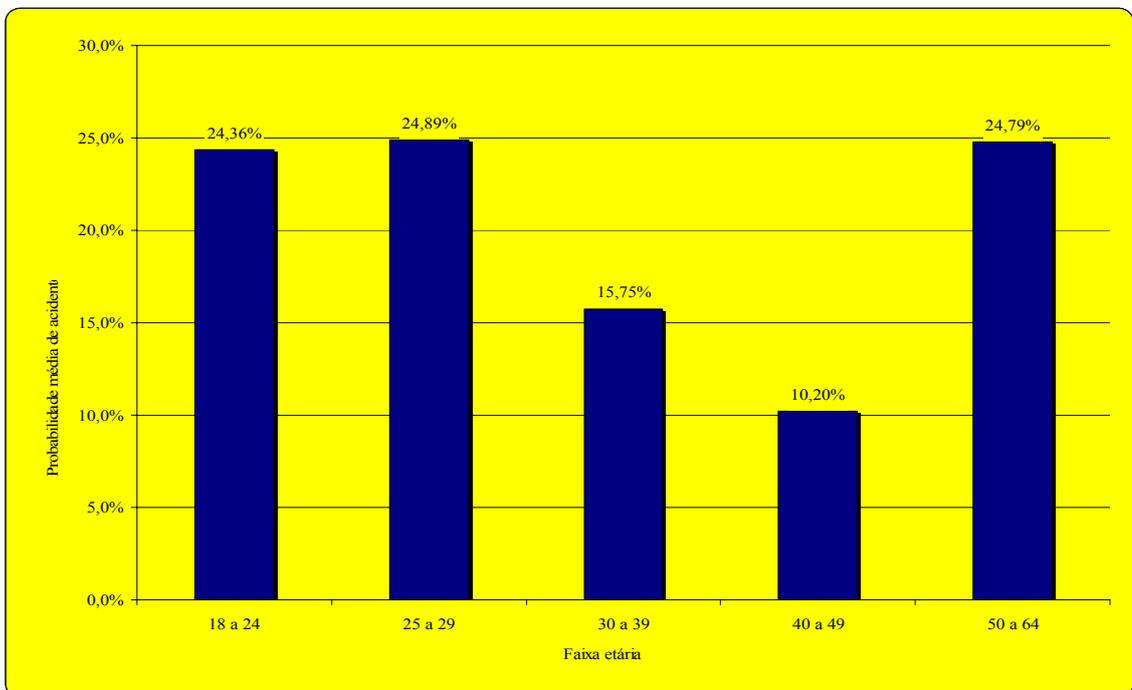


FIGURA 18 - Gráfico obtido da TAB. 16 mostrando a distribuição percentual média de acidentes com produtos perigosos por faixa etária do condutor. Período 2004 – 2007.

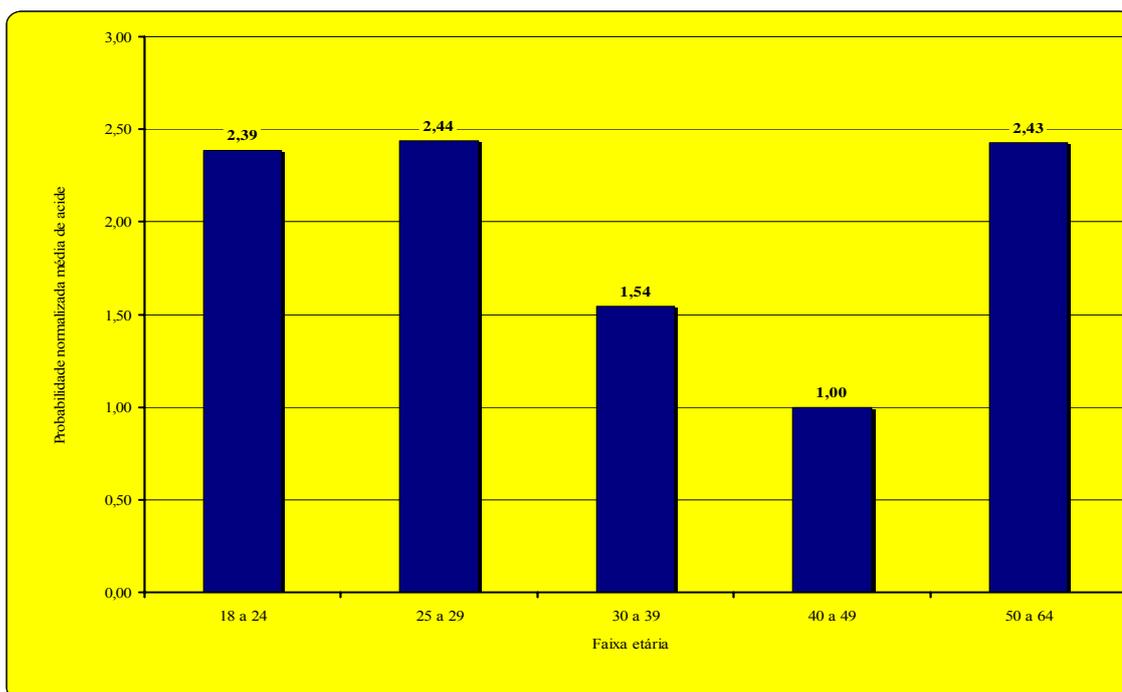


FIGURA 19 - Gráfico obtido da TAB. 16 mostrando a distribuição percentual média de acidentes normalizados pela faixa etária de 40 a 49 anos.

#### 4.5.2 Conclusões sobre influência da faixa etária do condutor na ocorrência de acidentes no transporte de produtos perigosos

O levantamento efetuado no Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo – DETRAN-SP em 2009 sobre a quantidade de condutores que são habilitados com o curso de Movimentação de Produtos Perigosos – MOPP forneceu o universo de todos os condutores disponíveis e contratados para tal tarefa. O resultado é mostrado na TAB. 17.

Na TAB. 17, a coluna de percentagem representa a ponderação percentual de condutores por faixa etária, o que mostra uma grande probabilidade de um condutor estar na faixa etária de 40 a 49 anos quando ocorrer acidente com produto perigoso durante o transporte.

Pelo exposto há uma grande probabilidade de que os condutores contratados estejam nessa faixa etária, que coincide com a mesma faixa etária onde ocorre menor número de acidentes.

TABELA 17 - Relação de todos os condutores habilitados pelo MOPP, no Estado de São Paulo.

Faixa etária	Número de condutores	Percentagem por faixa etária
18 a 24	428	0,40
25 a 29	9 339	8,66
30 a 39	30 631	28,39
40 a 49	38 974	36,12
50 a 64	26 918	24,95
65 a +	1 605	1,49
Total	107 895	

Fonte – Dados pesquisados e extraídos do banco de dados do DETRAN - SP em março de 2009.

Os dados mostrados na TAB. 16, estão convenientemente dispostos para uma fácil seleção da faixa etária do condutor. Na TAB.16 constata-se que os condutores com faixa etária entre 18 e 24, 25 e 29, 50 e 64, provavelmente estarão envolvidos em torno de duas vezes mais em acidentes do que os condutores de faixa etária entre 40 e 49 anos.

Na FIG. 20 é mostrado com mais detalhes os valores contidos na TAB. 17.

Para pesquisar as causas que justificam que o condutor de faixa etária entre 40 e 49 anos está menos envolvido em acidentes, realizou-se entrevista com o coordenador da área de treinamento do Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo – DETRAN-SP. As respostas quanto às possíveis causas foram: “o nível de atenção e o tempo de experiência ponderam muito na condução de cargas perigosas, condutores nessa faixa etária adquiriam um grau de experiência bom e o com um bom vigor físico há alto grau de atenção ao dirigir e menos fadiga em relação aos condutores mais velhos”, “Em relação aos condutores mais jovens, a falta de experiência em conduzir é apontada como a principal causa no maior número de acidentes”. “Essa experiência abrange a supervisão do acondicionamento da carga, a fixação da carga, a verificação do estado do veículo, a carga

e descarga do produto”.

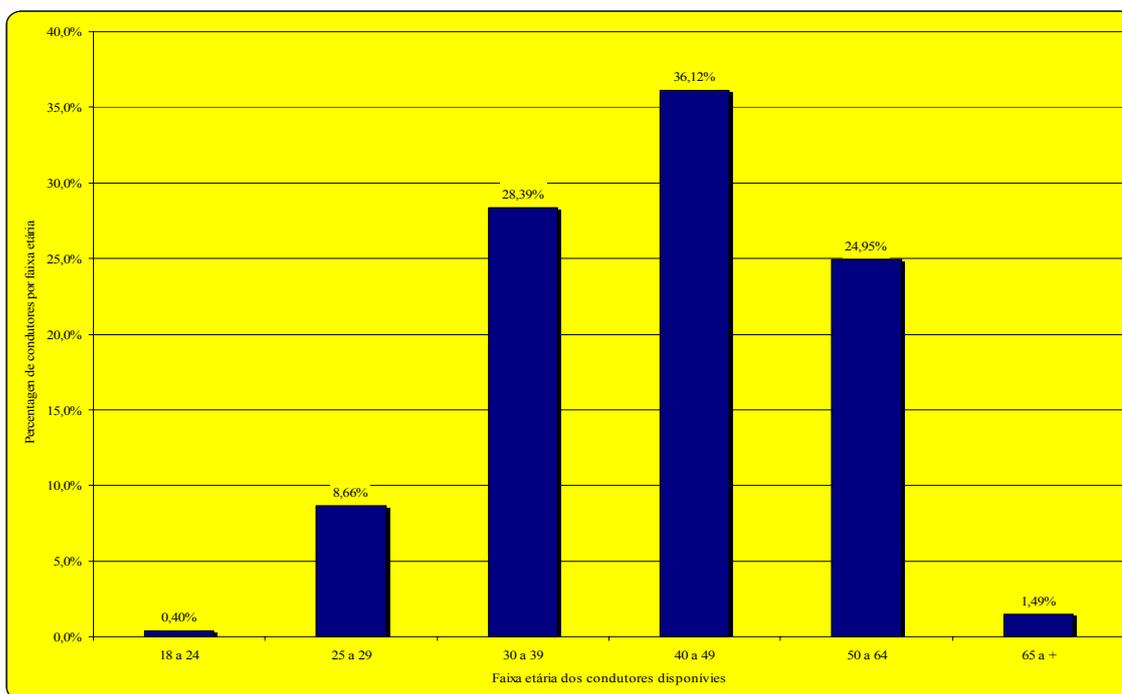


FIGURA 20 - Distribuição percentual por faixa etária dos condutores habilitados pelo MOPP no Estado de São Paulo.

Fonte – Dados provenientes da TAB.17.

O mesmo questionamento foi feito a policiais da Polícia Rodoviária Federal, que ratificaram a resposta do coordenador de treinamento do Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo – DETRAN-SP, acrescentaram que o motorista na faixa etária entre 40 e 49 anos é mais prudente na estrada em razão do tempo de experiência adquirida na estrada. Embora este trabalho não tenha como objetivo estudar as causas da variação do número de acidentes em relação à faixa etária do condutor, a experiência do diretor do Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo – DETRAN-SP e de policiais que atendem às ocorrências revela com grande grau de certeza as causas de tais variações.

Conclui-se que esses são os motivos pelos quais motoristas da faixa etária entre 40 e 49 são os mais contratados (por serem o em maior número e disponíveis no mercado), conforme dados do Ministério do Trabalho – RAIS, mostrados na TAB. 14.

Neste trabalho houve a preocupação de que o público em geral, não acadêmico, pudesse usar a variável faixa etária, para isso foram normalizadas as probabilidades.

Assim, o interessado em calcular o risco obtido deve multiplicá-lo pelo valor normalizado para obter o risco final, por faixa etária.

## 5 - ESTUDO DE CASO

Com o objetivo de aplicar a metodologia desenvolvida neste trabalho, para as rodovias paulistas, foi elaborada a simulação do transporte de um produto perigoso entre dois municípios do Estado de São Paulo. Para que essa simulação se aproximasse o máximo possível da realidade, foram adotados os seguintes procedimentos:

1°. Eleger duas rotas, em que realmente um determinado produto perigoso é usualmente transportado.

2°. As rotas deveriam passar em municípios com uma grande variação de densidade demográfica entre si, pois, dessa forma, seria possível estudar uma melhora na metodologia adaptada por Hartman (2003).

3°. As rotas e o produto escolhidos deveriam estar dentro da malha rodoviária do Estado de São Paulo e que dispusessem dados estatísticos sobre volume de tráfego, número de acidentes com caminhões em geral e acidentes com o transporte de produtos perigosos.

4°. Eleger o produto perigoso, que esteve envolvido no acidente e que ao mesmo tempo pudesse ter dado um grande impacto à biota.

5°. O produto escolhido deveria ter baixa pressão de vapor, pois em caso de acidente, a exposição da população existente as margens da rodovia ao produto seria maior e, assim, poder-se-ia analisar a sensibilidade ocorrida no cálculo do risco com a introdução de novas variáveis à metodologia.

6°. Calcular os riscos para as Rotas I e II, trecho a trecho, considerando todas as combinações possíveis entre as variáveis (faixa etária do condutor e zona de impacto) introduzidas no cálculo do risco:

- Probabilidade de acidente por faixa etária do condutor – 18 a 24; 25 a 29; 30 a 39; 40 a 49; 50 a 64 anos;
- Variação da densidade populacional por trecho analisado;
- Variação da zona de impacto conforme o período em que o produto está sendo transportado – dia ou noite.

7º. Avaliar os resultados mostrando os trechos de maior risco e a rota de menor risco.

8º Apresentar uma visualização global de todos os trechos e das duas rotas pela planilha eletrônica, permitindo uma tomada de decisão mais precisa, com recálculo automático em caso de substituição de alguma variável.

### **5.1 – Aplicação prática da metodologia nas rotas selecionadas**

Para o estudo de caso da metodologia de avaliação de riscos de rotas, foram eleitas duas rotas para o transporte do produto amônia. Tendo como origem a cidade de Jundiaí e o destino a cidade de Americana, ambas fazem parte da malha rodoviária do Estado de São Paulo, administradas pela Concessionária CCR – AutoBAN e Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER, conforme mostrado no mapa linear na FIG. 21.

Para a escolha das rotas, além da disponibilidade de dados, levou-se em consideração o alto índice de acidentes que apresentam, conforme pode ser observado na TAB. 1. Nessa tabela foram considerados 80% dos acidentes de cada ano, esse procedimento foi adotado, pois em média nos 20% restantes houve 1 acidente por tipo de produto para todas as rodovias do Estado de São Paulo.

As rotas I e II são descritas a seguir e evidenciadas na FIG. 22:

Rota I – Jundiaí → SP 330 → SP 300 → SP 348 → SP 304 → Americana – distância a ser percorrida: 99,5 km.

Rota II – Jundiaí → SP 330 → SP 304 → Americana – distância a ser percorrida: 76,6 km.

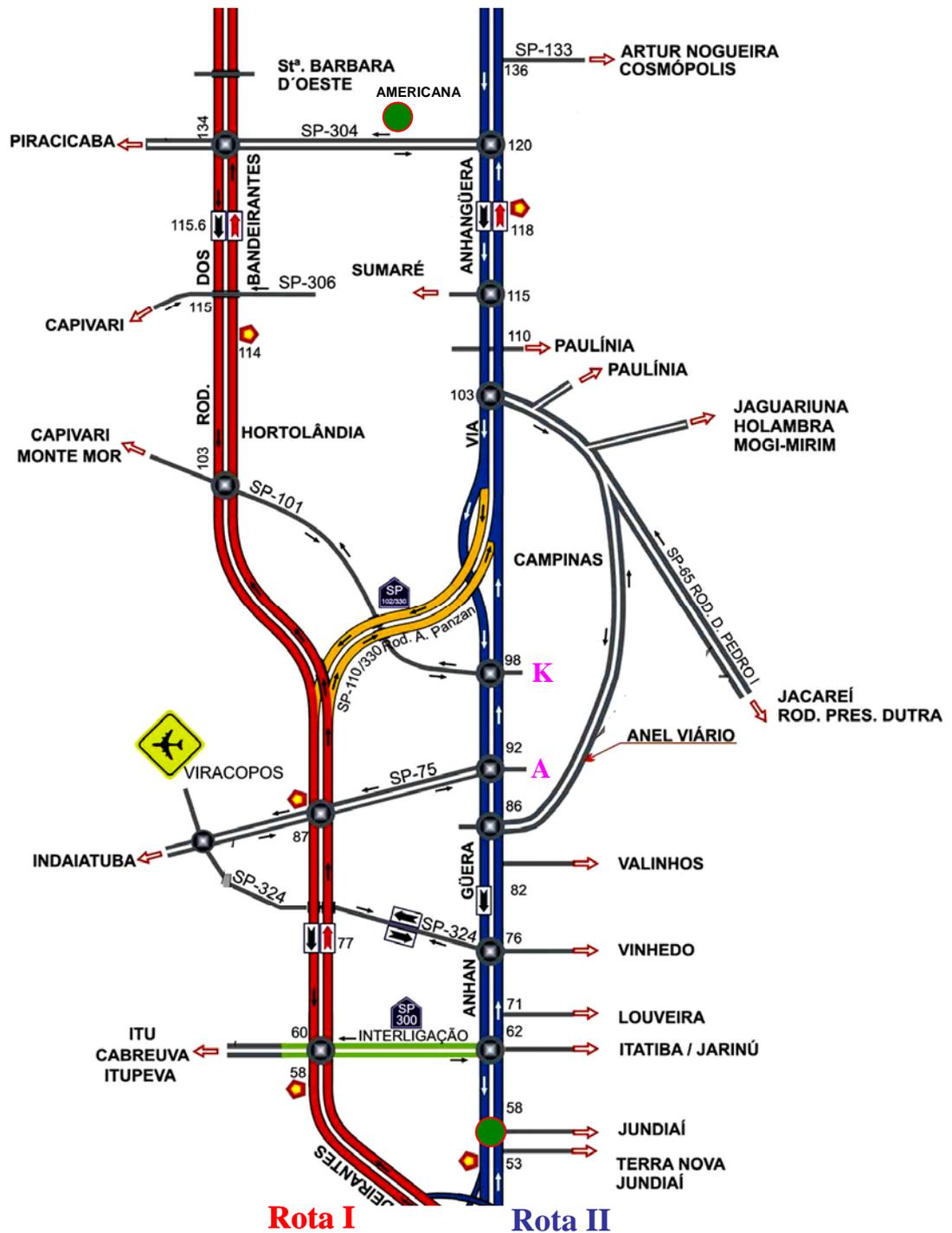


Figura 21 – Mapa linear mostrando rodovias eleitas como rotas para estudo de caso, indicando as cidades localizadas as margens das mesmas.  
 Fonte: AUTOBAN, 2009.

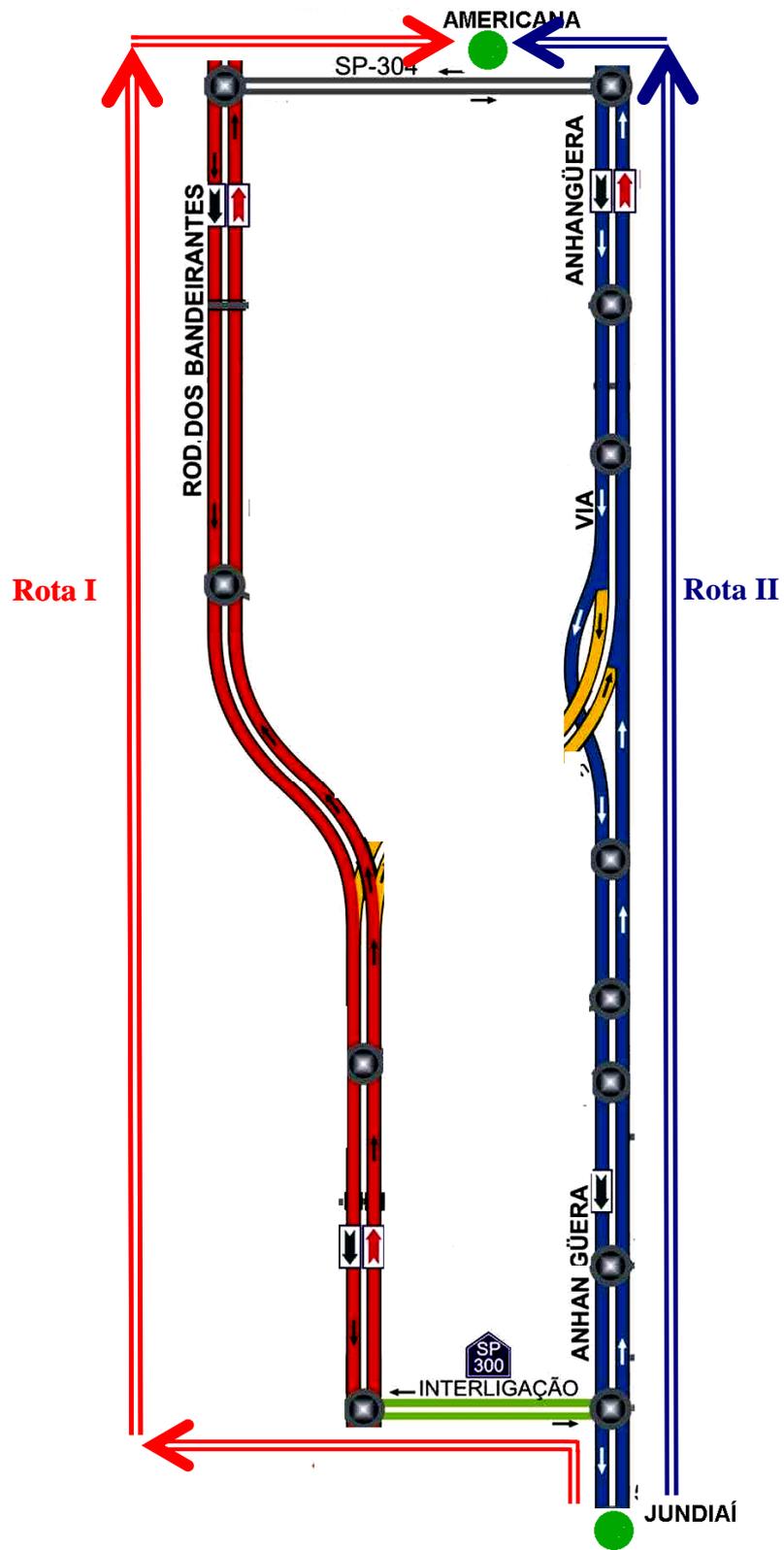


Figura 22 – Mapa linear simplificado mostrando rodovias eleitas como rotas para estudo.

Fonte: AUTOBAN, 2009.

Como não existem dados disponíveis sobre os tipos e quantidades de produtos perigosos que são transportados pelas duas rotas, foi feito um levantamento dos acidentes que envolveram produtos perigosos nessas rotas. O resultado dos dados colhidos entre 2004 e 2007 pelo DER, São Paulo, gerou a TAB. 18.

TABELA 18 – Número de acidentes com vazamentos, ocorridos com o transporte de produtos perigosos nas rodovias do Estado de São Paulo – Período 2004/2007.

(1) Número ONU	(2) Produto envolvido no acidente	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
		2004	2005	2006	2007	Total
1170	ETANOL (ÁLCOOL ETÍLICO) ou SOLUÇÕES DE ETANOL (SOLUÇÕES DE ÁLCOOL ETÍLICO)	82	32	18	25	157
1203	COMBUSTÍVEL PARA MOTORES, inclusive GASOLINA	35	14	4	11	64
1202	GASÓLEO	26	11	7	13	57
3082	SUBSTÂNCIAS QUE APRESENTAM RISCO PARA O MEIO AMBIENTE, LÍQUIDAS, N.E.	23	10	7	7	47
1824	HIDRÓXIDO DE SÓDIO, SOLUÇÃO	12	6	2	4	24
1075	GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO	6	5	2	6	19
1361	CARVÃO, de origem animal ou vegetal	7	3	3	6	19
3257	Líquido a Temperatura Elevada	6	5	2	3	16
1350	ENXOFRE	4	1	2	4	11
1791	HIPOCLORITO, SOLUÇÕES, com mais de 5% de cloro livre	5	2	1	3	11
1830	ÁCIDO SULFÚRICO	2	1	3	4	10
1208	HEXANOS	5	2	0	0	7
1263	TINTA (incluindo tintas, lacas, esmaltes, tinturas, gomas-laca, vernizes, polidores, enchimentos líquidos e bases líquidas para lacas) ou MATERIAL RELACIONADO COM TINTAS (incluindo diluentes ou redutores para tintas)	5	1	0	4	10
1993	LÍQUIDO INFLAMÁVEL, N.E.	5	0	1	1	7
2067	NITRATO DE AMÔNIO, FERTILIZANTES: misturas uniformes e não-segregantes c/ material inorgânico e quimicamente inerte, com 90% ou até 0,2% de material combustível, ou com mais de 70% e menos de 90% até 0,4% de material combustível total.	2	0	1	2	5
1210	TINTA PARA IMPRESSÃO, inflamável	4	0	0	0	4
1005	AMÔNIA, ANIDRA, LIQUEFEITA, ou AMÔNIA EM SOLUÇÃO aquosa, com densidade relativa inferior a 0,880 a 15°C, com mais de 50% de amônia	1	1	1	0	3
1049	HIDROGÊNIO, COMPRIMIDO	1	2	0	0	3
1073	OXIGÊNIO, LÍQUIDO REFRIGERADO	0	0	1	1	2
1173	ACETATO DE ETILA	0	0	1	0	1
1184	DICLORETO DE ETILENO	0	0	1	0	1

Fonte: CETESB, 2009 para o número ONU, os acidentes foram compilados do banco de dados fornecido pelo DER, 2008

Se a TAB. 18 for consultada, constata-se que a amônia não é o produto perigoso mais envolvido em acidentes, entretanto, é a substância química causadora de maior impacto à população existente as margens da rodovia, pois é volátil à temperatura ambiente. Além disso, é substância perigosa que dispõe de dados sobre zonas de impactos constantes no *2008 Emergency Response Guidebook* (PHMSA, 2009).

Os cálculos dos riscos de cada segmento de rota efetuados neste trabalho utilizam tabelas utilizadas por Harwood *et al.* (1990) e avaliadas neste trabalho. As citadas tabelas foram elaboradas com valores obtidos na malha rodoviária norte-americana, que tem como unidade de medida de distância a milha. Para uso dessas tabelas, é necessário converter as distâncias de quilômetros para milhas e, para isso, foi utilizado fator de conversão fornecido pelo Instituto de Pesos e Medidas do Estado de São Paulo → 1 mi = 1.609344 km (IPEM, 2009). Com o objetivo de tornar o cálculo mais rápido e aplicável a

qualquer rodovia utilizou-se a planilha eletrônica Excel.

Relativamente aos valores padronizados obtidos das tabelas (Harwood *et al.*, 1990) constatou-se a inexistência dos desvios padrões e consequentes valores das incertezas dos dados. Pesquisas realizadas nas diversas metodologias propostas por diversos autores que utilizam tais tabelas não usam os valores das incertezas para cálculo do risco, aplicando somente os valores tabelados. Embora este trabalho considere importante a utilização das incertezas no cálculo do risco, a inexistência de um banco de dados históricos de acidentes nas rodovias brasileiras impossibilitou o desenvolvimento de tabelas semelhantes às norte-americanas complementadas com os valores das incertezas.

Como foi exposto, foram selecionadas as duas rotas para o transporte de amônia entre os municípios de Jundiaí (município de origem) e Americana (destino), assim como selecionado o produto a ser transportado, a amônia. Essa seleção propiciou o cálculo de riscos relativos, passíveis de comparação e uma consequente escolha da rota que apresentou o menor dos valores obtidos.

O primeiro passo foi segmentar a rota conforme os dados disponíveis de tráfego e acidentes ocorridos, pois a tomada de média diária anual do volume de caminhões é efetuada por equipamentos eletrônicos instalados ao longo das rodovias. Na prática, os equipamentos de leitura de tráfego não distinguem automóveis, caminhões e ônibus, entretanto, conforme dados estatísticos da AutoBAN, a composição média é de 80% de automóveis, 17% de caminhões e 3% de ônibus, o que possibilitou determinar o volume de caminhões por trecho. Os volumes médios diários anuais de tráfego foram determinados separadamente entre as pistas de ida e vinda (leste ou oeste e norte ou sul).

O segundo passo foi determinar a média diária anual de acidentes ocorridos por segmento, com dados fornecidos pela Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo e DER.

O terceiro passo foi obter dados sobre a configuração de cada segmento das rotas em estudo, dados fornecidos pela concessionária CCR administradora da AutoBAN. Esses dados foram classificados conforme TAB. 5. Ainda nessa etapa, denominaram-se cada trecho com seus respectivos comprimentos. A segmentação deu-se conforme

informações obtidas sobre a média anual diária de caminhões, pois a tomada desses dados é efetuada por equipamentos fixos, instalados ao longo das rodovias, exceção feita à rodovia SP 304.

O quarto passo foi à obtenção de dados sobre a densidade demográfica, por onde passa cada trecho em estudo. Os dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE foram para as áreas urbanas e rurais de cada município, que contêm os trechos em análise, gerando a TAB. 19.

O quinto passo foi a elaboração das TAB. 20, 21+22, 23, 24+25, para as quais cada coluna, quando se fizer necessário, será fornecido a fonte e o método utilizado para se obter o valor lá existente.

Relativamente, nas tabelas 20 e 23, as metodologias de cálculo são as mesmas excetos os dados, pois são rotas de rodovias distintas.

Nas colunas (1), estão as rodovias a que pertencem os trechos escolhidos das rotas – Rota I e Rota II – respectivamente.

Nas colunas (2) foram atribuídos nomes a cada segmento para referenciá-los a qualquer tempo.

Nas colunas (3) e (4), estão o **início** e o **final** do trecho em estudo respectivamente, ratificando-se que tanto os “**inícios**” e “ **finais**” foram determinados pelo posicionamento dos equipamentos de medição do volume de tráfego, existentes nas rodovias. Excetua-se a SP 304, que os segmentos foram determinados conforme dados fornecidos pelo DER. As delimitações de cada trecho são adotadas pela concessionária AutoBAn, o conjunto de dados é contido pelos limites do trecho em estudo. Por exemplo, o trecho AB da SP 330 vai do quilômetro 62 exclusive até o quilômetro 69,7 inclusive, o trecho subsequente AC vai do quilômetro 69,7 exclusive até o quilômetro 71,0 inclusive e assim sucessivamente.

As colunas (6) e (7) das tabelas 20 e 23 classificam cada trecho em estudo, conforme TAB. 10. Foi optado por esse tipo de classificação em razão da utilização de

dados estatísticos provenientes da bibliografia norte-americana, pois não existem tais dados no Brasil.

Ainda, referente à coluna (6) e (7), TAB. 20, trecho AA, foi considerada uma classificação de Urbana Multipistas divididas, conforme classificação existente na TAB. 10, pois o trecho passa por uma área demograficamente densa, sendo este mesmo critério adotado ao trecho AK na coluna (4) da TAB. 23.

Diante a inexistência de dados estatísticos sobre os diversos locais onde ocorrem acidentes relativos à distribuição de acidentes correlacionados com a configuração das rodovias brasileiras, adotou-se, tal como Ramos (1997) o fez em seu estudo, a TAB. 6. Dados estes provenientes de uma combinação de três malhas rodoviárias norte-americanas. Dessa forma, foram obtidos os dados existentes nas colunas (8) para ambas as tabelas 20 e 23.

As colunas (9), das TAB.20 e 23, foram preenchidas com dados obtidos a partir de banco de dados fornecidos da concessionária CCR, administradora da AutoBAn e DER. O valor calculado para cada trecho foi a média diária para 365 dias de observação.

A distância percorrida em cada trecho foi calculada com a diferença entre a marca de quilometragem inicial e final do trecho, resultando em quilômetros de extensão. Dividindo-se por 1,609344, obtivemos os valores constantes nas colunas (10), de cada tabela. Como já foi justificado, tal conversão foi necessária para manter a coerência entre os diversos dados disponíveis (como, por exemplo, os existentes na coluna (8) de cada tabela).

A equação 7 propiciou o cálculo dos dados dispostos nas colunas (11) de ambas as tabelas. Elucidando melhor, a coluna (11) = (8) \* (9) \* (10) \* (N) \* 10<sup>-6</sup>.

Onde N é o período em dias em que foi observado o número de acidentes na coluna (12) e o fator 10<sup>-6</sup> para manter a consistência com a coluna (8) (por milhão de veículo milha).

As colunas (11), de ambas as tabelas, refletem o número de acidentes ocorridos em cada trecho, no período de observação, neste caso, 365 dias – um ano.

Os testes dos parâmetros  $\chi^2$  Qui-Quadrado foram obtidos utilizando-se a equação (12), ou seja, a relação entre as colunas é:

$$\text{Coluna (13)} = \{[(11)-(12)]^2\} / (11).$$

Aplicando os critérios de aceitação de amostragem sugeridos por Harwood *et al.* (1990), o teste do parâmetro  $\chi^2$  é feito na coluna (14), tendo como resposta “**sim**”, se for maior do que 4, será utilizada a equação (13), para obtenção dos valores da coluna (15), caso não seja maior do que 4, será utilizado o valor padrão da coluna (8). Para o cálculo da equação (13), a inter-relação entre as colunas é dada por:

$$\text{Coluna (15)} = [(12)*10^6] / [(N)*(10)*(9)],$$

Onde, N é o período de observação tal qual foi referenciado anteriormente na coluna (11).

A coluna (15) fornece a **Taxa de Acidente para Avaliação do Risco** por trecho – sendo dada em [**acidente por milhão veículo \* milha**], que será utilizada para o cálculo da população exposta por trecho de cada rota.

A **Taxa de Acidente para Avaliação do Risco** é o objetivo final de cálculo das TAB. 19 e 22, fornecendo subsídio para as TAB. 21e22 e 24e25, que serão analisadas a seguir.

As TAB. 21e22 e 24e25 irão fornecer os valores da população exposta ao risco, que é o foco das consequências de um acidente e será representado por valores parciais para cada trecho, permitindo uma avaliação de onde a população estará mais exposta. Sendo avaliação de risco uma ação preventiva, com o gerenciamento desse risco é possível minimizá-lo ou eliminá-lo de forma pontual.

Referente às TAB. 21 e 24: As colunas (2), (3), (4), (6) e (9) são as mesmas das TAB. 20 e 23, que foram propositalmente repetidas para uma melhor compreensão e coerência ao encadeamento dos cálculos. Ainda, ratifica-se que as relações entre colunas são as mesmas para ambas as tabelas.

Os valores constantes nas colunas (5) das TAB. 21 e 24 são provenientes das colunas (15) das TAB. 20 e 23.

A coluna (6) reflete valores da TAB. 9, e é o resultado de valores médios ponderados para a malha rodoviária de três Estados norte-americanos. Não foi possível utilizar-se de valores brasileiros, em razão de que os dados estatísticos disponíveis no Brasil não contemplam tais informações, tais como foram mencionados para as colunas (8) das tabelas 20 e 23

Referente as TAB. 21 e 24;

A coluna (7) é resultado da subtração da coluna (4) – coluna (5), resultando na distância percorrida no trecho.

A coluna (8) = coluna (5) \*1,609344\*coluna (6)\* coluna (4) reflete a probabilidade de vazamento no trecho em milhas.

As colunas (9), (10), (11), (12) e (13) combinam a probabilidade de vazamento da coluna (8) com as probabilidades normalizadas de acidentes por faixa etária da TAB. 15:

As colunas (14), (15), (16) e (17) refletem as distâncias de proteção (zona de impacto) determinadas pelo “*Response Guide Book*”, 2008 do DOT (2008) – neste caso para o produto amônia com distância “*de proteção*” para o período diurno de 0,7 milhas e noturno 1,4 milhas.

As colunas (14) e (16) são resultados da conversão em milhas para quilômetros pelo fator 1,609344.

As colunas (18) e (19) refletem os valores da densidade populacional nos trechos mostrados pela TAB. 19.

As colunas (20) e (21) são resultados da densidade populacional no trecho e a zona de impacto diurna e noturna conforme as relações:

$$\text{Coluna (20)} = \text{coluna (7)} * (14) * 2 * (18)$$

$$\text{Coluna (21)} = \text{coluna (7)} * (16) * 2 * (18)$$

Nota: conjunto é multiplicado por 2 em razão de se contabilizarem ambos os lados da rodovia.

As colunas (22), (23), (24) e (25) refletem o número de habitantes expostos por quilômetro (milha) no trecho com as seguintes relações:

$$\text{Coluna (22)} = \text{coluna (20)} / (7)$$

$$\text{Coluna (23)} = \text{coluna (21)} / (7)$$

As TAB. 22 e 25 calculam e mostram todos os resultados possíveis das combinações entre faixa etária e zona de impacto, fornecendo os valores dos riscos parciais de cada trecho e o final de cada rota.

As colunas (1), (2), (3), (4) são as mesmas das TAB. 21 e 24 e foram propositalmente repetidas para uma melhor compreensão e coerência ao encadeamento dos cálculos a serem efetuados. Ainda, ratifica-se que as relações entre colunas são as mesmas para ambas as tabelas.

As colunas (5), (6), (7), (8) e (9) das TAB. 21 e 24 calculam o risco para cada faixa etária com o transporte sendo efetuado no período diurno.

As colunas (10), (11), (12), (13) e (14) das TAB. 21 e 24 calculam o risco para cada faixa etária com o transporte sendo efetuado no período noturno.

Abaixo estão as relações entre as colunas:

$$\text{Coluna (5)} = \text{coluna (9)} * \text{coluna (23)}$$

$$\text{Coluna (6)} = \text{coluna (10)} * \text{coluna (23)}$$

$$\text{Coluna (7)} = \text{coluna (10)} * \text{coluna (23)}$$

$$\text{Coluna (8)} = \text{coluna (12)} * \text{coluna (23)}$$

$$\text{Coluna (9)} = \text{coluna (13)} * \text{coluna (23)}$$

$$\text{Coluna (11)} = \text{coluna (9)} * \text{coluna (25)}$$

$$\text{Coluna (12)} = \text{coluna (10)} * \text{coluna (25)}$$

$$\text{Coluna (13)} = \text{coluna (11)} * \text{coluna (25)}$$

$$\text{Coluna (14)} = \text{coluna (12)} * \text{coluna (25)}$$

Coluna (15) = coluna (13) \* coluna (25)

A última linha de ambas as tabelas mostram os valores acumulados dos riscos para todas as combinações possíveis.

Esta linha é o resultado das somatórias dos riscos parciais de cada trecho.

Tabela 19 – Densidade demográfica no entorno das rodovias em estudo

Município	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
	Área	Área	Área	Área	Área	População	População	População	Densidade	Densidade	Densidade	Densidade	Densidade	Densidade
	Total	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total	Total	Urbana	Urbana	Rural	Rural
km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	mi <sup>2</sup>	mi <sup>2</sup>	Habitantes	Habitantes	Habitantes	Habit / km <sup>2</sup>	Habit / mi <sup>2</sup>	Habit / km <sup>2</sup>	Habit / mi <sup>2</sup>	Habit / km <sup>2</sup>	Habit / mi <sup>2</sup>	
Americana	133,9	97,4	36,5	37,6	14,1	200.562	200.131	431	1497,8	3879,6	2054,7	5322,0	11,8	30,6
Campinas	796,4	388,9	407,5	150,1	157,3	1.039.297	1.021.952	17.345	1305,0	3380,1	2627,8	6806,3	42,6	110,2
Hortolândia	64,4	64,4	0,0	24,9	0,0	190.781	190.781	0	2962,4	7673,0	2962,4	7673,0	-----	----
Itupeva	201,0	70,4	130,6	27,2	50,4	36.766	27.061	9.705	182,9	473,8	384,4	995,6	74,3	192,5
Jundiaí	432,0	112,0	320,0	43,2	123,5	342.983	318.389	24.594	793,9	2056,4	2842,8	7363,0	76,9	199,1
Louveira	55,4	44,3	11,1	17,1	4,3	29.760	27.251	2.509	537,2	1391,4	615,1	1593,3	226,0	585,5
Nova Odessa	73,5	25,7	47,8	9,9	18,5	45.625	44.583	1.042	620,7	1607,8	1734,7	4493,2	21,8	56,5
Santa Bárbara d'Oeste	270,0	60,0	210,0	23,2	81,1	184.318	181.976	2.342	682,7	1768,2	3032,9	7855,6	11,2	28,9
Sumaré	153,4	132,6	20,8	51,2	8,0	228.696	225.457	3.239	1490,8	3861,4	1700,3	4403,9	155,7	403,3
Valinhos	148,0	59,0	89,0	22,8	34,4	97.814	92.548	5.266	660,9	1711,8	1568,6	4062,8	59,2	153,3
Vinhedo	82,0	73,8	8,2	28,5	3,2	57.435	56.168	1.267	700,4	1814,2	761,1	1971,3	154,5	400,2

(1), (2), (3), (6), (7), (8), dados obtidos do IBGE, 2009.

(4) = (2) / 2,59009433 - conversão de km<sup>2</sup> para mi<sup>2</sup>

(5) = (3) / 2,59009433 - conversão de km<sup>2</sup> para mi<sup>2</sup>

(9) = (1) / (6)

(10) = (6) / [(4) + (5)]

(11) = (7) / (2)

(12) = (7) / (4)

(13) = (8) / (3)

(14) = (8) / (5)

Fonte - Tabela elaborada com dados obtidos pelo IBGE, 2009.

TABELA 20 – Rota I – Jundiá à Americana via rodovia dos Bandeirantes – SP.  
Cálculo da taxa de acidente para avaliação de risco

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)		
Origem	Rodovia	Trecho	Início Km	Fim Km	Distância percorrida no trecho em Km	Classe da Rodovia		Taxa Esperada de acidentes c/ caminhões (acidentes por milha)	Média de caminhões (veículos / dia)	Distância percorrida no trecho em milhas	Número de acidentes com caminhões esperado no período (A <sub>e</sub> )	Número de acidentes com caminhões observado (A <sub>o</sub> )	Teste do qui-quadrado	Taxa de acidente p/ avaliação de risco (acidente por milha)		
						Tipo de área	Tipo de Rodovia								χ <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup> >4?
SP - 330	AA	58,00	62,00	4,0	Urbana *	Multipistas divididas	12,47	4.650	2,49	157,8	295	118,92	Sim	23,29		
SP - 300	AP	1,00	6,00	5,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.218	3,11	23,5	105	285,18	Sim	9,63		
SP - 348	BA	60,00	69,20	9,2	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	5,72	46,4	114	99,58	Sim	5,30		
SP - 348	BB	69,20	69,68	0,5	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	0,30	2,4	1	0,83	Não	2,15		
SP - 348	BC	69,68	73,83	4,1	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	2,58	20,9	39	15,83	Sim	4,02		
SP - 348	BD	73,83	74,10	0,3	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	0,17	1,4	6	15,93	Sim	9,51		
SP - 348	BE	74,10	74,65	0,6	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	0,34	2,8	3	0,02	Não	2,15		
SP - 348	BF	74,65	75,00	0,3	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	0,22	1,8	3	0,88	Não	2,15		
SP - 348	BG	75,00	75,70	0,7	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	0,43	3,5	1	1,81	Não	2,15		
SP - 348	BH	75,70	76,50	0,8	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	0,50	4,0	9	6,18	Sim	4,81		
SP - 348	BI	76,50	78,49	2,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	1,24	10,0	220	4379,50	Sim	47,08		
SP - 348	BJ	78,49	87,00	8,5	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	5,29	42,9	54	2,96	Não	2,15		
SP - 348	BK	87,00	96,00	9,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	4.043	5,59	53,2	114	70,10	Sim	4,62		
SP - 348	BL	96,00	102,57	6,6	Rural	Multipistas divididas	2,15	1.164	4,08	11,2	66	270,34	Sim	12,72		
SP - 348	BM	102,57	105,00	2,4	Rural	Multipistas divididas	2,15	1.164	1,51	4,1	18	46,77	Sim	9,38		
SP - 348	BN	105,00	109,86	4,9	Rural	Multipistas divididas	2,15	1.188	3,02	8,4	3	3,50	Não	2,15		
SP - 348	BO	109,86	114,00	4,1	Rural	Multipistas divididas	2,15	1.188	2,57	7,2	1	5,33	Sim	0,30		
SP - 348	BP	114,00	122,87	8,9	Rural	Multipistas divididas	2,15	1.045	5,51	13,6	3	8,21	Sim	0,48		
SP - 348	BQ	122,87	134,00	11,1	Rural	Multipistas divididas	2,15	1.045	6,92	17,0	2	13,25	Sim	0,25		
SP - 304	LQB	140,00	131,00	9,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	1.255	5,59	16,5	127	744,72	Sim	16,58		
SP - 304	LQC	131,00	127,00	4,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	1.255	2,49	7,3	31	73,03	Sim	8,93		
<b>Destino</b>	<b>Americana</b>		<b>Total</b>	<b>96,0</b>												

(6) e (7) classificação do trecho em estudo conforme TAB. 5

(8) proveniente da TAB. 8

(9) dados obtidos pelo levantamento na rodovia

(10) = (5) / 1,609344 – conversão de quilômetros para milha

(11) valores obtidos a partir da equação (4)

(12) dados extraídos de boletins de ocorrências da Polícia Rodoviária e DER – SP

(13) valores obtidos a partir da equação (9)

(14) teste de significância – Qui-quadrado.

(15) dados obtidos a partir da equação (10)

Fonte – Tabela desenvolvida para este trabalho.

TABELA 21 – Cálculo parcial da população exposta ao risco na Rota I – Jundiá à Americana via rodovia dos Bandeirantes – com as combinações possíveis entre faixas etárias do condutor e zona de impacto, para os períodos diurnos e noturnos – simulação para o transporte de amônia em volumes maiores que 55 galões ou 208,19 litros.

Origem	Rodovia	Trecho	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	Probabilidade de vazamento corrigida por faixa etária					Período				Densidade		Período		Período														
									Taxa de acidente esperada e/ caminhos (acidente por milhão)	Probabilidade de vazamento	Distância percorrida no trecho em km	Probabilidade de vazamento	Distância percorrida no trecho em km					Diurno		Noturno		Populacional (habitantes / quilômetro <sup>2</sup> )	Populacional (habitantes / milha <sup>2</sup> )	Diurno		Noturno										
													2,39	2,44	1,54	1	2,43	Zona de Impacto	Zona de Impacto	Zona de Impacto	Zona de Impacto			Total de habitantes expostos no trecho	Total de habitantes expostos no trecho	Total de habitantes por quilometro	Total de habitantes por milha									
																												18	25	30	40	50	km	mi	km	mi
SP - 330	AA	58,00	62,00	23,29	0,062	4,00	9,297	22,221	22,686	14,318	9,297	22,593	1,127	0,70	2,253	1,40	76,9	199,06	693	1385	173	108	346	215												
SP - 300	AP	1,00	6,00	9,63	0,082	5,00	6,357	15,192	15,510	9,789	6,357	15,447	1,127	0,70	2,253	1,40	76,9	199,06	866	1732	173	108	346	215												
SP - 348	BA	60,00	69,20	5,30	0,082	9,20	6,436	15,382	15,703	9,911	6,436	15,639	1,127	0,70	2,253	1,40	76,9	199,06	1593	3186	173	108	346	215												
SP - 348	BB	69,20	69,68	2,15	0,082	0,48	0,136	0,325	0,332	0,210	0,136	0,331	1,127	0,70	2,253	1,40	154,5	400,20	167	334	348	216	696	433												
SP - 348	BC	69,68	73,83	4,02	0,082	4,15	2,202	5,262	5,372	3,391	2,202	5,350	1,127	0,70	2,253	1,40	74,3	192,47	695	1390	167	104	335	208												
SP - 348	BD	73,83	74,10	9,51	0,082	0,27	0,339	0,810	0,826	0,522	0,339	0,823	1,127	0,70	2,253	1,40	154,5	400,20	94	188	348	216	696	433												
SP - 348	BE	74,10	74,65	2,15	0,082	0,55	0,156	0,373	0,381	0,240	0,156	0,379	1,127	0,70	2,253	1,40	74,3	192,47	92	184	167	104	335	208												
SP - 348	BF	74,65	75,00	2,15	0,082	0,35	0,099	0,237	0,242	0,153	0,099	0,241	1,127	0,70	2,253	1,40	154,5	400,20	122	244	348	216	696	433												
SP - 348	BG	75,00	75,70	2,15	0,082	0,70	0,199	0,475	0,485	0,306	0,199	0,483	1,127	0,70	2,253	1,40	74,3	192,47	117	234	167	104	335	208												
SP - 348	BH	75,70	76,50	4,81	0,082	0,80	0,508	1,214	1,240	0,782	0,508	1,235	1,127	0,70	2,253	1,40	154,5	400,20	279	557	348	216	696	433												
SP - 348	BI	76,50	78,49	47,08	0,082	1,99	12,364	29,549	30,167	19,040	12,364	30,043	1,127	0,70	2,253	1,40	59,2	153,25	265	531	133	83	267	166												
SP - 348	BJ	78,49	87,00	2,15	0,082	8,51	2,415	5,771	5,891	3,718	2,415	5,867	1,127	0,70	2,253	1,40	42,6	110,25	816	1632	96	60	192	119												
SP - 348	BK	87,00	96,00	4,62	0,082	9,00	5,484	13,107	13,381	8,445	5,484	13,326	1,127	0,70	2,253	1,40	42,6	110,25	863	1726	96	60	192	119												
SP - 348	BL	96,00	102,57	12,72	0,082	6,57	11,028	26,356	26,907	16,982	11,028	26,797	1,127	0,70	2,253	1,40	42,6	110,25	630	1260	96	60	192	119												
SP - 348	BM	102,57	105,00	9,38	0,082	2,43	3,008	7,188	7,338	4,632	3,008	7,308	1,127	0,70	2,253	1,40	2962,4	7672,99	16219	32439	6675	4147	13349	8295												
SP - 348	BN	105,00	109,86	2,15	0,082	4,86	1,379	3,296	3,365	2,124	1,379	3,351	1,127	0,70	2,253	1,40	2962,4	7672,99	32439	64877	6675	4147	13349	8295												
SP - 348	BO	109,86	114,00	0,30	0,082	4,14	0,163	0,390	0,398	0,251	0,163	0,397	1,127	0,70	2,253	1,40	155,7	403,33	1453	2905	351	218	702	436												
SP - 348	BP	114,00	122,87	0,48	0,082	8,87	0,558	1,334	1,362	0,860	0,558	1,357	1,127	0,70	2,253	1,40	155,7	403,33	3112	6224	351	218	702	436												
SP - 348	BQ	122,87	134,00	0,25	0,082	11,13	0,371	0,887	0,906	0,572	0,371	0,902	1,127	0,70	2,253	1,40	11,2	28,89	280	559	25	16	50	31												
SP - 304	LQB	140,00	131,00	16,58	0,082	9,00	19,697	47,076	48,060	30,333	19,697	47,863	1,127	0,70	2,253	1,40	11,2	28,89	226	452	25	16	50	31												
SP - 304	LQC	131,00	127,00	8,93	0,082	4,00	4,714	11,266	11,502	7,259	4,714	11,455	1,127	0,70	2,253	1,40	11,2	28,89	101	201	25	16	50	31												

Destino Americana

(5) obtido da TAB. 20

(6) obtido da TAB. 10

(8) = (5) \* (6) \* (7) \* 1,609344 - Equação (7)

(9) = (8) \* 2,36 (TAB. 16)

(10) = (8) \* 2,44 (TAB. 16)

(11) = (8) \* 1,54 (TAB. 16)

(12) = (8) \* 1,00 (TAB. 16)

(12) = (8) \* 2,43 (TAB. 16)

(15), (17) (PHMSA, 2009)

(14) = (15) \* 1,609334

(16) = (17) \* 1,609334

(18) obtido da TAB. 18

(19) = (18) \* 2,589956

(20) = (7) \* (14) \* (18)

(21) = (7) \* (16) \* (18)

(22) = (20) / (7)

(23) = (22) / 1,609334

(24) = (21) / (7)

(25) = (24) / 1,609334.

Fonte – Tabela desenvolvida para este trabalho

TABELA 22 – Cálculo da população exposta ao risco por trecho para a Rota I – Jundiá à Americana via rodovia dos Bandeirantes.

Origem	Rodovia Jundiá	Trecho	Início km	Fim km	População exposta ao risco conforme o período do dia e faixa etária do condutor - por trecho									
					Diurno					Noturno				
					18 a	25 a	30 a	40 a	50 a	18 a	25 a	30 a	40 a	50 a
					24	29	39	49	64	24	29	39	49	64
					(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
SP - 330	AA	58,00	62,00	2391	2441	1541	1000	2431	4782	4882	3081	2001	4862	
SP - 300	AP	1,00	6,00	1635	1669	1053	684	1662	3269	3338	2107	1368	3324	
SP - 348	BA	60,00	69,20	1655	1690	1066	692	1683	3310	3379	2133	1385	3365	
SP - 348	BB	69,20	69,68	70	72	45	29	72	141	144	91	59	143	
SP - 348	BC	69,68	73,83	547	559	353	229	557	1095	1118	705	458	1113	
SP - 348	BD	73,83	74,10	175	179	113	73	178	350	358	226	147	356	
SP - 348	BE	74,10	74,65	39	40	25	16	39	78	79	50	32	79	
SP - 348	BF	74,65	75,00	51	52	33	21	52	103	105	66	43	104	
SP - 348	BG	75,00	75,70	49	50	32	21	50	99	101	64	41	100	
SP - 348	BH	75,70	76,50	263	268	169	110	267	525	536	339	220	534	
SP - 348	BI	76,50	78,49	2448	2499	1577	1024	2489	4895	4998	3154	2048	4977	
SP - 348	BJ	78,49	87,00	344	351	222	144	350	688	702	443	288	699	
SP - 348	BK	87,00	96,00	781	797	503	327	794	1562	1595	1007	654	1588	
SP - 348	BL	96,00	102,57	1571	1603	1012	657	1597	3141	3207	2024	1314	3194	
SP - 348	BM	102,57	105,00	29811	30435	19209	12473	30310	59623	60870	38418	24947	60621	
SP - 348	BN	105,00	109,86	13668	13954	8807	5719	13897	27336	27908	17614	11438	27794	
SP - 348	BO	109,86	114,00	85	87	55	36	86	170	174	110	71	173	
SP - 348	BP	114,00	122,87	291	297	187	122	296	582	594	375	243	592	
SP - 348	BQ	122,87	134,00	14	14	9	6	14	28	28	18	12	28	
SP - 304	LQB	140,00	131,00	735	750	474	308	747	1470	1501	947	615	1495	
SP - 304	LQC	131,00	127,00	176	180	113	74	179	352	359	227	147	358	
<b>Destino</b>	<b>Americana</b>		Totais	56.799	57.988	36.599	<b>23.765</b>	57.750	113.599	115.976	73.198	47.531		

(5) = coluna (9) da TAB. 21 \* coluna (23) da TAB. 21

(6) = coluna (10) da TAB. 21 \* coluna (23) da TAB. 21

(7) = coluna (11) da TAB. 21 \* coluna (23) da TAB. 21

(8) = coluna (12) da TAB. 21 \* coluna (23) da TAB. 21

(9) = coluna (13) da TAB. 21 \* coluna (23) da TAB. 21

(10) = coluna (9) da TAB. 21 \* coluna (25) da TAB. 21

(11) = coluna (10) da TAB. 21 \* coluna (25) da TAB. 21

(12) = coluna (11) da TAB. 21 \* coluna (25) da TAB. 21

(13) = coluna (12) da TAB. 21 \* coluna (25) da TAB. 21

(14) = coluna (13) da TAB. 21 \* coluna (25) da TAB. 21

Fonte – Tabela desenvolvida para este trabalho.

TABELA 23 – Rota II – Jundiaí à Americana via Anhanguera – SP – Cálculo da taxa de acidente para avaliação de risco

Origem	Rodovia Jundiaí	Trecho	Início Km	Fim Km	Distancia percorrida no trecho em Km	Classe da Rodovia		Taxa Esperada de acidentes c/ caminhões (acidentes por milha)	Média de caminhões (veículos / dia) TADT	Distância percorrida no trecho em milhas L <sub>i</sub>	Número de acidentes com caminhões esperado no período (A <sub>e</sub> )	Número de acidentes com caminhões observado período (A <sub>o</sub> )	Teste do parâmetro qui-quadrado X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup> >4 ?	Taxa de acidente p/ avaliação de risco (acidente por milha)
						Tipo de área	Tipo de Rodovia								
						Total									
	SP - 330	AA	58,0	62,0	4,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	4.650	2,49	27,2	295	2631,79	Sim	23,29
	SP - 330	AB	62,0	69,7	7,7	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.964	4,77	44,5	90	46,92	Sim	4,36
	SP - 330	AC	69,7	71,0	1,3	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.964	0,82	7,7	9	0,25	Não	2,15
	SP - 330	AD	71,0	73,6	2,6	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.964	1,63	15,3	24	5,10	Sim	3,39
	SP - 330	AE	73,6	76,0	2,4	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.634	1,47	12,6	33	33,33	Sim	5,65
	SP - 330	AF	76,0	80,3	4,3	Rural	Multipistas divididas	2,15	2.032	2,65	12,7	51	116,91	Sim	8,68
	SP - 330	AG	80,3	82,0	1,7	Rural	Multipistas divididas	2,15	2.032	1,08	5,2	33	150,70	Sim	13,76
	SP - 330	AH	82,0	86,0	4,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	5.353	2,49	31,3	9	15,87	Sim	0,62
	SP - 330	AI	86,0	86,1	0,1	Rural	Multipistas divididas	2,15	5.182	0,06	0,8	3	6,68	Sim	8,53
	SP - 330	AJ	86,1	92,0	5,9	Rural	Multipistas divididas	2,15	5.182	3,67	44,7	30	4,79	Sim	1,45
	SP - 330	AK	92,0	98,0	6,0	Urbana *	Multipistas divididas	12,47	5.011	3,73	255,1	199	12,54	Sim	9,71
	SP - 330	AL	98,0	103	5,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	5.284	3,11	38,6	111	136,59	Sim	6,19
	SP - 330	AM	103,0	104,0	1,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	8.059	0,62	11,8	111	840,04	Sim	20,30
	SP - 330	AN	104,0	105,5	1,5	Rural	Multipistas divididas	2,15	7.012	0,93	15,4	24	4,90	Sim	3,36
	SP - 330	AO	105,5	110,0	4,5	Rural	Multipistas divididas	2,15	7.012	2,80	46,2	99	61,11	Sim	4,62
	SP - 330	AP	110,0	115,6	5,6	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.768	3,48	30,9	120	259,28	Sim	8,38
	SP - 330	AQ	115,6	119,7	4,1	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.768	2,52	22,3	165	917,67	Sim	15,93
	SP - 330	AR	115,6	120,0	4,4	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.768	2,73	24,3	6	13,71	Sim	0,53
	SP - 304	LQA	120,0	127,0	7,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	526	4,35	5,4	15	18,07	Sim	6,09
<b>Destino</b>	Americana			Total	73,1						45,39				

(6) e (7) classificação do trecho em estudo conforme TAB. 5

(8) proveniente da TAB. 8

(9) dados obtidos pelo levantamento na rodovia

(10) = (5) \* 1,609344 – conversão de quilômetros para milha

(11) valores obtidos a partir da equação (4)

(12) dados extraídos de boletins de ocorrências da Polícia Rodoviária e DER-SP

(13) valores obtidos a partir da equação (9)

(14) teste de significância – Qui-quadrado.

(15) dados obtidos a partir da Equação (10)

Fonte – Tabela desenvolvida para este trabalho.

TABELA 24 – Cálculo parcial da população exposta ao risco na Rota II – Jundiá à Americana via rodovia Anhanguera – com as combinações possíveis entre faixas etárias do condutor e zona de impacto para os períodos diurnos e noturnos – simulação para o transporte de amônia em volumes maiores do que 55 galões ou 208,19 litros.

Origem	Rodovia	Jundiá	Trecho	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	Probabilidade de vazamento corrigida por faixa etária					Período				Densidade		Período		Período							
										Taxa de acidente esperada c/ caminhões (acidente por milhão de veículos*milha)	Probabilidade de vazamento dado um acidente	Distância percorrida no trecho em km	Probabilidade de vazamento	Probabilidade de vazamento corrigida por faixa etária					Diurno		Noturno		Densidade Populacional (habitantes / quilometro <sup>2</sup> )	Densidade Populacional (habitantes / milha <sup>2</sup> )	Período		Período			
														2,39	2,44	1,54	1	2,43	Zona de Impacto	Zona de Impacto	Zona de Impacto	Zona de Impacto			Total de habitantes expostos	Total de habitantes expostos	Total de habitantes por		Total de habitantes por	
														18	25	30	40	50	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto			por	por	Total de habitantes por		Total de habitantes por	
														a	a	a	a	a	largura	largura	largura	largura			no trecho	no trecho	quilometro		milha	
24	29	39	49	64	km	mi	km	mi	quilometro <sup>2</sup>	milha <sup>2</sup>	no trecho	no trecho	quilometro	milha	quilometro	milha														
SP - 330	AA	58,0	62,0	23,29	0,062	4,00	9,297	22,221	22,686	14,318	9,297	22,593	1,127	0,70	2,253	1,40	76,9	199,06	693	1385	173	108	346	215						
SP - 330	AB	62,0	69,7	4,36	0,082	7,68	4,416	10,553	10,774	6,800	4,416	10,730	1,127	0,70	2,253	1,40	76,9	199,06	1330	2660	173	108	346	215						
SP - 330	AC	69,7	71,0	2,15	0,082	1,32	0,375	0,895	0,914	0,577	0,375	0,910	1,127	0,70	2,253	1,40	226,0	585,45	672	1344	509	316	1019	633						
SP - 330	AD	71,0	73,6	3,39	0,082	2,63	1,178	2,814	2,873	1,813	1,178	2,861	1,127	0,70	2,253	1,40	226,0	585,45	1339	2679	509	316	1019	633						
SP - 330	AE	73,6	76,0	5,65	0,082	2,37	1,766	4,221	4,309	2,720	1,766	4,292	1,127	0,70	2,253	1,40	154,5	400,20	825	1650	348	216	696	433						
SP - 330	AF	76,0	80,3	8,68	0,082	4,26	4,881	11,666	11,910	7,517	4,881	11,862	1,127	0,70	2,253	1,40	154,5	400,20	1483	2966	348	216	696	433						
SP - 330	AG	80,3	82,0	13,76	0,082	1,74	3,158	7,549	7,707	4,864	3,158	7,675	1,127	0,70	2,253	1,40	59,2	153,25	232	464	133	83	267	166						
SP - 330	AH	82,0	86,0	0,62	0,082	4,00	0,327	0,782	0,798	0,504	0,327	0,795	1,127	0,70	2,253	1,40	59,2	153,25	533	1066	133	83	267	166						
SP - 330	AI	86,0	86,1	8,53	0,082	0,10	0,113	0,269	0,275	0,173	0,113	0,274	1,127	0,70	2,253	1,40	59,2	153,25	13	27	133	83	267	166						
SP - 330	AJ	86,1	92,0	1,45	0,082	5,90	1,126	2,691	2,747	1,734	1,126	2,736	1,127	0,70	2,253	1,40	42,6	110,25	566	1132	96	60	192	119						
SP - 330	AK	92,0	98,0	9,71	0,062	6,00	5,810	13,887	14,177	8,948	5,810	14,119	1,127	0,70	2,253	1,40	2,627,8	6806,25	35524	71048	5921	3679	11841	7358						
SP - 330	AL	98,0	103,0	6,19	0,082	5,00	4,086	9,764	9,969	6,292	4,086	9,928	1,127	0,70	2,253	1,40	42,6	110,25	480	959	96	60	192	119						
SP - 330	AM	103,0	104,0	20,30	0,082	1,00	2,679	6,402	6,536	4,125	2,679	6,509	1,127	0,70	2,253	1,40	42,6	110,25	96	192	96	60	192	119						
SP - 330	AN	104,0	105,5	3,36	0,082	1,50	0,666	1,591	1,624	1,025	0,666	1,618	1,127	0,70	2,253	1,40	42,6	110,25	144	288	96	60	192	119						
SP - 330	AO	105,5	110,0	4,62	0,082	4,50	2,746	6,563	6,700	4,229	2,746	6,672	1,127	0,70	2,253	1,40	155,7	403,33	1579	3158	351	218	702	436						
SP - 330	AP	110,0	115,6	8,38	0,082	5,60	6,194	14,803	15,113	9,538	6,194	15,051	1,127	0,70	2,253	1,40	155,7	403,33	1965	3930	351	218	702	436						
SP - 330	AQ	115,6	119,7	15,93	0,082	4,05	8,517	20,354	20,780	13,115	8,517	20,695	1,127	0,70	2,253	1,40	21,8	56,46	199	398	49	31	98	61						
SP - 330	AR	115,6	120,0	0,53	0,082	4,40	0,310	0,740	0,756	0,477	0,310	0,753	1,127	0,70	2,253	1,40	11,8	30,58	117	234	27	17	53	33						
SP - 304	LQA	120,0	127,0	6,09	0,082	7,00	5,623	13,440	13,721	8,660	5,623	13,665	1,127	0,70	2,253	1,40	11,8	30,58	186	372	27	17	53	33						

Destino Americana

(5) obtido da TAB. 23

(6) obtido da TAB. 10

(8) = (5)\*(6)\*(7)\*1,609344 – equação (7)

(9) = (8) \* 2,36 (TAB. 16)

(10) = (8) \* 2,44 (TAB. 16)

(11) = (8) \* 1,54 (TAB. 16)

(12) = (8) \* 1,00 (TAB. 16)

(12) = (8) \* 2,43 (TAB. 16)

(15), (17) (PHMSA, 2009)

(14) = (15) \* 1,609334

(16) = (17) \* 1,609334

(18) obtido da TAB. 19

(19) = (18) \* 2,589956

(20) = (7) \* (14) \* (18)

(21) = (7) \* (16) \* (18)

(22) = (20) / (7)

(23) = (22) / 1,609334

(24) = (21) / (7)

(25) = (24) / 1,609334.

Fonte: tabela desenvolvida para este trabalho.

TABELA 25 – Cálculo da população exposta ao risco por trecho para a Rota II – Jundiaí à Americana via rodovia Anhanguera.

Origem	Rodovia	Trecho	(3)	(4)	População exposta ao risco conforme o período do dia e faixa etária do condutor - por trecho									
					Período									
					Diurno					Noturno				
					18 a	25 a	30 a	40 a	50 a	18 a	25 a	30 a	40 a	50 a
					(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
	<b>Jundiaí</b>		Início km	Fim km	24	29	39	49	64	24	29	39	49	64
	SP - 330	AA	58	62	2391	2441	1541	1000	2431	4782	4882	3081	2001	4862
	SP - 330	AB	62	70	1136	1159	732	475	1155	2271	2319	1463	950	2309
	SP - 330	AC	70	71	283	289	183	119	288	567	578	365	237	576
	SP - 330	AD	71	74	891	909	574	373	905	1781	1818	1148	745	1811
	SP - 330	AE	74	76	913	932	588	382	928	1826	1864	1177	764	1857
	SP - 330	AF	76	80	2524	2576	1626	1056	2566	5047	5153	3252	2112	5132
	SP - 330	AG	80	82	625	638	403	262	636	1251	1277	806	523	1272
	SP - 330	AH	82	86	65	66	42	27	66	129	132	83	54	132
	SP - 330	AI	86	86	22	23	14	9	23	45	46	29	19	45
	SP - 330	AJ	86	92	160	164	103	67	163	321	327	207	134	326
	SP - 330	AK	92	98	51089	52158	32919	21376	51944	102178	104315	65838	42752	103888
	SP - 330	AL	98	103	582	594	375	243	592	1164	1188	750	487	1183
	SP - 330	AM	103	104	382	389	246	160	388	763	779	492	319	776
	SP - 330	AN	104	106	95	97	61	40	96	190	194	122	79	193
	SP - 330	AO	106	110	1431	1461	922	599	1455	2861	2921	1844	1197	2909
	SP - 330	AP	110	116	3227	3295	2079	1350	3281	6455	6590	4159	2701	6563
	SP - 330	AQ	116	120	621	634	400	260	632	1242	1268	801	520	1263
	SP - 330	AR	116	120	12	12	8	5	12	24	25	16	10	25
	SP - 304	LQA	120	127	222	227	143	93	226	444	454	286	186	452
<b>Destino</b>	<b>Americana</b>			Totais	66.670	68.065	42.959	<b>27.896</b>	67.786	133.341	136.130	85.918	55.791	135.572

(5) = coluna (9) da TAB. 21 \* coluna (23) da TAB. 24  
(6) = coluna (10) da TAB. 21 \* coluna (23) da TAB. 24  
(7) = coluna (11) da TAB. 21 \* coluna (23) da TAB. 24  
(8) = coluna (12) da TAB. 21 \* coluna (23) da TAB. 24  
(9) = coluna (13) da TAB. 21 \* coluna (23) da TAB. 24  
(10) = coluna (9) da TAB. 21 \* coluna (25) da TAB. 24  
(11) = coluna (10) da TAB. 21 \* coluna (25) da TAB. 24  
(12) = coluna (11) da TAB. 21 \* coluna (25) da TAB. 24  
(13) = coluna (12) da TAB. 21 \* coluna (25) da TAB. 24  
(14) = coluna (13) da TAB. 21 \* coluna (25) da TAB. 24  
Fonte: tabela desenvolvida para este trabalho.

## 6 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Sendo o propósito da pesquisa deste trabalho produzir conhecimento inédito e aplicável à sociedade, as conclusões foram evidenciadas nos itens pesquisados que são **a influência da faixa etária do condutor na taxa de acidentes e a influência da variação da zona de impacto em relação ao risco**. Para o cálculo do resultado final do risco (do número de pessoas expostas), foram feitas todas as combinações possíveis entre as duas novas variáveis pesquisadas.

### 6.1 Discussão sobre a aplicação prática da metodologia nas rotas selecionadas

Na metodologia utilizada por Harwood *et al.* (1990) e adaptada por Hartman em 2003, era considerada uma faixa de impacto constante e fixa ao longo da rodovia e não era ponderada a faixa etária do condutor. Com a introdução das variáveis citadas e as simulações feitas e mostradas nas TAB. 21 e 24, é possível avaliar todas as combinações entre zona de impacto diurna, zona de impacto noturna e as faixas etárias do condutor (de 18 a 24, 25 a 29, 30 a 39, 40 a 49 e 50 a 64 anos de idade). Na elaboração das tabelas citadas tomou-se o cuidado de que as combinações fossem feitas para todos os segmentos de ambas as rotas selecionadas.

Os riscos resultantes das condições acima podem ser observados nas TAB. 22 e 25.

Rota I → risco 23.765 pessoas expostas – percurso de 96 km

Rota II → risco 27.896 pessoas expostas – percurso de 73,1 km

Se for adotado que a população existente as margens da rodovia fique exposta ao menor risco, e que o condutor tenha uma faixa etária entre 40 e 49 anos, pode ser constatado (nas TAB. 22 e 25) que o risco de exposição aumenta quase 17% indo de 23.765 para 27.896 pessoas expostas, quando são comparadas as rotas I e II.

Embora a Rota II tenha o menor trajeto (em torno de 73 km), ela não é a de menor risco. A Rota I com trajeto maior (em torno de 96 km) tem o menor risco, isto em razão de ter menos trechos “imersos” em zonas populacionais densas.

O menor percurso, o tempo de transporte e o evitamento de fiscalizações levam empresas e condutores a optarem por transporte pela Rota II e no período noturno. Se a alternativa do transporte noturno for levada a cabo, os riscos envolvidos seriam: Rota I teria 47.531 e a Rota II de 85.918 pessoas expostas, mantendo a mesma faixa etária do condutor, entre 40 e 49 anos.

Entrevistas feitas com as empresas de transporte mostraram que os condutores e gerentes desconhecem a variação do risco e que a opção pelo período noturno é simplesmente pelo menor custo da viagem. Esse custo está vinculado principalmente à distância percorrida e um baixo congestionamento, menor probabilidade de fiscalização.

Uma análise mais detalhada da Rota II, ainda considerando a faixa etária mais provável do condutor entre 40 a 49 anos, percebe-se que o trecho AK – do km 92 ao km 98 da SP330 representa 76,63% do risco total da rota. Esse valor alto em relação aos demais segmentos é causado pela densidade demográfica no entorno do trecho, pois ele se encontra imerso em uma grande região urbana. Essa grande massa populacional pode ser constatada pelo grande número de construções no entorno, como mostrado na FIG. 23. (GOOGLE, 2009).

Relativamente ao trecho AK, poderia ser tentado alterar a rota para diminuir-se a população exposta, porém, constata-se pela FIG. 23 que o desvio de rota possível seria pela Rodovia Santos Dumont – Rodovia dos Bandeirantes – Via de Acesso Aberto Panzan – Rodovia Anhanguera. Observando a FIG. 23, a distância seria maior do que os 6 km (pela SP330) e a rota proposta como alternativa também está imersa na mesma mancha urbana e com um trajeto maior levando com isso a um risco final maior.

Como alternativa para minimizar o risco, o transporte poderia ser feito de forma escoltada em baixa velocidade de 49 km/hora pela SP 330 (SLAC, 2010).

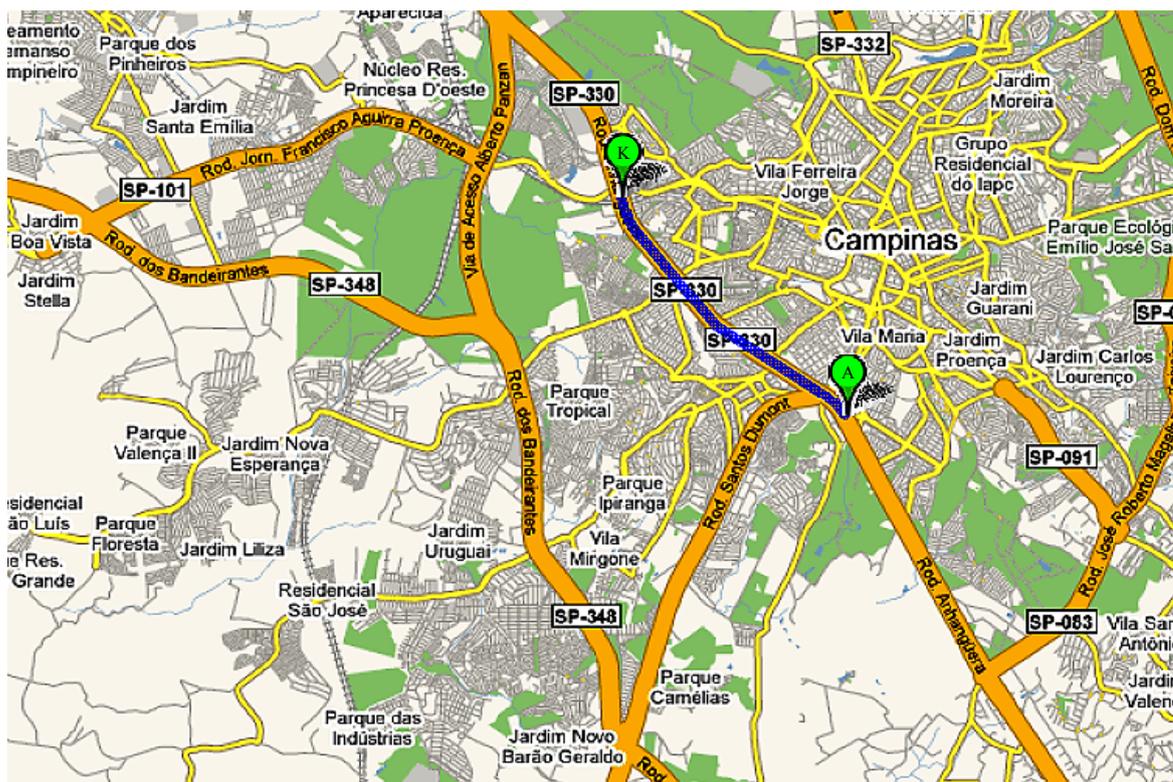


FIGURA 23 – Mapa urbano sinalizando o trecho AK e Rodovia Anhanguera – SP 330  
 Fonte: Google, 2009. (maio de 2009)

Cabe mencionar que os valores fornecidos pelo IBGE das densidades populacionais são estimados e não reais. Como o risco populacional é uma relação entre os fatores número de acidentes com vazamento e o número de pessoas expostas, ao longo do trecho por quilômetro, mostrando o quanto à população, está exposta a um acidente, com vazamento em um veículo, que transporta produto perigoso, esse índice de risco é expresso pelo número de acidentes vezes o número de pessoas por veículo por quilômetro. O resultado do cálculo dos riscos compara o quanto um determinado trecho oferece de risco a uma população, levando-se em conta o número de acidentes com caminhões em que houve vazamento.

Sendo esse índice dependente da extensão da população envolvida e da taxa de acidentes de cada trecho, não é possível precisar o quanto o trecho é seguro, entretanto, pode se avaliar se o mesmo oferece menor ou maior risco que outro trecho da malha estudada.

Uma observação deve ser feita, ao longo de ambas as rotas, ocorrem picos de populações expostas que coincidem com as vizinhanças de municípios que margeiam as

rodovias, que compõem essas rotas. Fica aqui uma sugestão de promover um estudo acurado dos possíveis desvios das densidades demográficas dessas áreas e as suas influências, não somente para que a taxa de risco diminua, mas também para que a população fique mais segura.

Como alternativa pode ser estipulada uma taxa de acidentes mínima para cada trecho e comparar com o índice obtido.

Em razão de não ser o propósito deste trabalho estudar rotas alternativas de menor risco, não haverá o estudo pormenorizado a respeito e sim o de propor uma metodologia para comparação entre rotas distintas. Considerando que a metodologia calcula o risco por segmento de rota, pode-se utilizá-la para classificar cada trecho de interesse, adotando medidas, para que o risco seja eliminado ou diminuído, o que contribuirá para a queda do valor relativo global do risco da rota em análise.

É digno de nota salientar que alguns cuidados devem ser tomados, quanto à seleção de dados para o cálculo de um risco e uma rota e o de compará-lo a outra rota alternativa:

- **Classificação de rodovias**

O tipo de rodovia escolhido para este caso de aplicação tem padrões de conservação semelhantes às rodovias norte-americanas cujas probabilidades foram aplicadas. O desejável é que os dados fossem totalmente locais, pois cada Estado tem uma situação peculiar de conservação e sinalização de rodovias. Condições que dependem da situação financeira governamental. Na obtenção dos valores brasileiros, é importante considerar os diversos graus de incertezas inerentes ao processo de tomada de dados assim como dos cálculos.

Para a constituição de um banco de dados adequado por região, quem atende ao acidente deverá ter competência técnica (isento de consequências jurídicas) para preencher um formulário padronizado, que forneça dados suficientes para os cálculos necessários. Procedimento este usual e recomendado pelo DOT nos EUA.

- **Densidades populacionais**

Embora o IBGE (2009) forneça as **densidades populacionais** urbanas e rurais, essas são valores médios estimados que não necessariamente refletem a ocupação à margem de uma rota, basta que se observe a não existência de nenhuma casa em determinados trechos da rodovia dos Bandeirantes SP 348, mesmo assim, foram consideradas densidades médias. O correto seria obter fotos atuais via satélite e pelos métodos cartográficos calcular as densidades médias prováveis por trecho em estudo.

- **Largura da zona de impacto**

A variável zona de impacto introduzida e diferenciada entre os períodos diurno e noturno foram obtidas de dados estatísticos de experimentos feitos nos EUA para condições específicas e valores médios. Como as rotas I e II estão contidas entre vales e regiões planas, o correto seria levantar o modelo probabilístico de dispersão trecho a trecho da intensidade e direção dos ventos de forma sazonal para cada tipo de produto perigoso. Esse procedimento forneceria com maior precisão valores dos riscos especificamente para as rotas I e II.

- **Média de caminhões**

A média de caminhões que percorrem o trecho de interesse é dada por uma porcentagem sobre a quantidade total de veículos de porte que passam por ali, e não há distinção entre cargas em geral e cargas perigosas, além do que é recomendado pelo DOT: que se faça a amostragem em trechos menores do que 1 km. Uma alternativa é que se cumpra a lei brasileira que obriga o remetente da carga perigosa a informar a origem, o destino e a quantidade enviada do produto. Se isso acontecer, pode-se calcular as probabilidades com maior precisão, que seria por volume transportado e não por **veículo\*km**.

A taxa média de acidentes utilizado na metodologia aplicada é utilizada, após o teste estatístico Qui-Quadrado, tal taxa é proveniente de uma malha rodoviária norte-americana, o que nem sempre reflete a taxa da malha rodoviária brasileira, sendo pertinente o mesmo comentário e sugestão para a variável classificação das rodovias, ou

seja, é desejável ter taxas brasileiras de maior precisão de cada Estado ou região.

## **6.2 Discussão sobre o parâmetro zona de impacto.**

Com o propósito de avaliar se a sensibilidade do risco em relação ao parâmetro zona de impacto foi feita uma simulação no trecho AK na rota II. Esse trecho foi selecionado em razão de estar imerso em uma zona altamente densa do município de Campinas.

As simulações foram feitas e apresentadas nas TAB. 21 e 24, considerando o trecho percorrido pelo mesmo condutor com faixa etária entre 40 a 49 anos. O risco em ambas as rotas aumenta em torno de 100% quando o transporte passa do período diurno para o noturno. Este aumento significativo é resultado direto do aumento da zona de impacto.

## **6.3 Discussão sobre a introdução do parâmetro faixa etária do condutor na ocorrência de acidentes no transporte de produtos perigosos**

As pesquisas realizadas durante a execução deste trabalho mostrou que existe uma grande maioria de condutores habilitados e contratados na faixa etária entre 40 e 49 anos (informação obtida no banco de dados do Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo – DETRAN-SP e Ministério do Trabalho, respectivamente) e que esta faixa etária é a que menos está envolvida em acidente com produtos perigosos (cruzamento de dados com banco de dados do DER e Ministério do Trabalho).

Em razão do exposto foi considerada a faixa etária entre 40 e 49 anos com fator 1 de ponderação nas probabilidades de ocorrência de acidentes.

Considerando como exemplo o trecho AK na TAB. 25 no período diurno, há uma variação do risco de 21.736 para 52.158 de pessoas expostas, quando o condutor passa da faixa etária de 40 a 49 anos para 25 a 29 anos, representando um acréscimo de 144% no risco. A mesma avaliação pode ser constatada para as demais faixas etárias.

Uma observação se faz necessária para um resultado mais preciso e com menor

“contaminação”, as probabilidades sobre a faixa etária deveriam ser relativas ao produto acidente / quilômetro / produto transportado / faixa etária. Isso não ocorreu em razão da não existência de banco de dados sobre acidentes, assim como as transportadoras não cumprirem a lei informando origem e destino, rota e quantidade de produto transportado.

Cabe observar que o número de anos de observação, relativo a ocorrência de acidentes com produtos perigosos é pequeno, não permitindo uma inferência estatística precisa.

#### **6.4 Sugestões para pesquisas futuras**

Fatores especiais devem ser considerados na escolha da rota mais segura, além do valor do risco calculado, tais como, determinados tipos de população, de hospitais, escolas, instalações militares, indústrias (com grande concentração de pessoas), a existência de atendimento a emergências, corpos d'água e o estado de conservação das rodovias. “Os riscos ambientais constituem uma preocupação nas decisões dos empresários e nos programas de imagem institucional da empresa, por extensão os acidentes com produtos perigosos sendo transportados devem ser incluídos nessa preocupação.” (Valle, 1995). Esses itens devem ser passíveis da criação de índices que possam ser incorporados na equação (1), tornando-a mais sensível e aproximando-se de uma realidade.

Por outro lado, o custo da obtenção de tais índices deve ser ponderado, pois é de fundamental importância a relação: **custo/benefício**, a qual é uma das principais preocupações do engenheiro e pesquisador na realização de qualquer empreitada.

Constatou-se uma sazonalidade de acidentes durante os meses do ano, porém não existem estudos específicos estatísticos sobre o assunto. Esse item é particularmente importante, pois para efeito da segurança das pessoas expostas e custo do prêmio de seguro. Como esse item não era o foco deste trabalho fica aqui uma sugestão para futuras pesquisas e que se inclua tal variável na metodologia ora proposta.

Como proposta de aplicação da metodologia de Harwood *et al.* (1990) e com as contribuições deste trabalho, a seguir, serão mostrados os passos a serem dados e os sugeridos para melhorá-los.

- Passo 1 – Aplicar uma estrutura para o gerenciamento do risco, pois por meio de medidas administrativas, o risco pode ser eliminado, diminuído ou mitigado.
- Passo 2 – Aplicar a metodologia de avaliação de rotas proposta por Harwood *et al.* (1990) com as inovações introduzidas pelas pesquisas realizadas neste trabalho.
  - Passo 2a – Na obtenção de dados relativos às rotas, evitar sempre que estas atravessem zonas de alta densidade demográfica, pois a variável zona de impacto aumenta significativamente o risco do trecho.
  - Passo 2b – Lembrar que um percurso maior aumenta a probabilidade da ocorrência de um acidente e do risco, que nada mais é do que a população exposta.
  - Passo 2c – Lembrar que, embora não haja um índice que agrave o risco, o fator faixa etária do motorista influencia na probabilidade da ocorrência de um acidente, dessa forma sugere-se selecionar motoristas com maior experiência nesse tipo de atividade.
  - - Passo 2d – Em razão da inexistência de banco de dados oficial, cabe propor, antes de qualquer pesquisa relativa ao desenvolvimento de metodologias para cálculo de risco, ações que metodizem a coleta de compilação de dados relativos a acidentes com produtos perigosos quando transportados via rodovias.

Ainda se deve ter em mente que toda a ação busca a prevenção, assim os preceitos de uma detecção precoce de um evento é fundamental, pois está em jogo a vida humana e o meio ambiente (Hartman, 1998).

O transporte de produtos perigosos tem sido feito por algumas empresas de forma profissional, porém os riscos nem sempre são quantificados. Os gestores preocupam-se somente com a parte logística e técnica, não considerando as questões de ética, que implicam em responsabilidade social de uma organização e por vezes esquecem-se do seu relacionamento com o mundo externo, sendo o local em que se transmitem as decisões que afetam as pessoas e o meio ambiente (Moraes, 2001).

Durante as entrevistas, que foram mantidas com condutores de produtos perigosos, nem sempre estes tinham o conhecimento da extensão do dano que um vazamento de um produto perigoso causaria, por vezes vários produtos na forma “a granel” são transportados não havendo uma preocupação com a compatibilidade entre estes. Isso

denota uma falta de conhecimento mais profundo dos riscos que o próprio condutor está exposto, assim como as populações existentes as margens das rotas. Denota-se que um dos fatores que contribui para essa falta de informação é a necessidade de recorrer a ocupações temporárias para suprir um orçamento familiar, atitude que atualmente vem sendo assumida devido às recorrências econômicas do País, que se refletem até mesmo nas empresas que vão à procura de fretes e custos mais baixos no transporte, em virtude da vulnerabilidade econômica. Uma fiscalização mais intensa pode ser uma atitude a ser tomada para garantir uma segurança, no entanto, resolveria somente em parte o problema, pois haveria sempre a procura de rotas alternativas que possibilitariam a fuga de uma fiscalização, assim como os desvios dos pedágios.

Durante as entrevistas feitas com condutores, policiais rodoviários e transportadores constatou-se que muitos deles desconheciam a ABNT, e a existência de comitê que trabalha no desenvolvimento de normas técnicas para o setor.

A conscientização pela educação, informando a população e condutores, poderá ser considerada como a solução mais eficaz do exposto. Tal conscientização passa pela divulgação dos riscos a que ambos estão expostos quanto à passagem de um produto perigoso pelas vizinhanças.

## **6.5 Conclusão**

### **6.5.1 Referente ao item 6.1 metodologia aplicada no estudo de caso.**

A metodologia aplicada neste trabalho foi a originalmente proposta pelo DOT, a qual ao longo do tempo tem sido modificada com objetivo de que o risco calculado contemple uma ampla quantidade de variáveis. A inclusão dessas variáveis faz com que o risco reflita, com mais precisão, as conseqüências de um provável acidente com produto perigoso.

O que contribui fortemente a utilização de uma metodologia, desenvolvida na década de 80 é a praticidade na aplicação assim como a facilidade da obtenção dos parâmetros para cálculo do risco. Há de se lembrar que os dados estatísticos refletem eventos ocorridos no passado e que; as rodovias, veículos, o condutor, os

acondiçõamentos dos produtos transportados, evoluem tecnologicamente influenciando nos valores probabilísticos. Assim na aplicação de qualquer tabela que reflita dados históricos é necessária uma avaliação de especialistas no transporte de produtos para ratificar ou retificar os índices tabelados.

### **6.5.2 Referente ao item 6.2 introdução do parâmetro zona de impacto.**

Conforme a simulações feitas conclui-se que é necessária a introdução da variável zona de impacto na metodologia proposta, em razão das características intrínsecas de cada produto perigoso transportado, e seus efeitos a saúde humana e a biota. Ainda corrobora para sua aplicação o fato de que a densidade da população existente nas margens das possíveis rotas é extremamente variável.

Ainda, devem ser consideradas as quantidades transportadas, pois o volume de gases voláteis da dispersão esta intimamente ligado com o volume transportado, e o vazamento em caso de um acidente.

Ratifica-se a necessidade de segmentar as rotas pretendidas em pequenos trechos da rodovia. Este procedimento deve ser adotado para que a densidade média populacional calculada se aproxime o máximo possível da dispersão real existente em cada trecho em estudo. A limitação do tamanho do segmento ficaria então limitada por condições técnicas e financeiras disponíveis para o estudo.

### **6.5.3 Referente ao item 6.3 introdução do parâmetro faixa etária do condutor**

Conforme citado no início deste trabalho, havia sido constatado uma relação entre acidente em geral e a faixa etária do condutor, entretanto nunca tinha sido feita essa correlação com o transporte de produto perigosos.

O estudo realizado para este trabalho foi feito a partir de dados brasileiros e deve ser considerado como o inicial, passível de uma continuidade, pois o banco de dados disponível era relativamente pequeno. Isto é; reflete acidentes ocorridos em quatro anos.

As simulações mostraram que há uma clara influência na ocorrência de

acidentes quando é considerada a faixa etária do condutor.

Conforme justificativas apresentadas pela Polícia Rodoviária e empresas de transporte de produtos perigosos a faixa etária, de condutores mais contratada coincide com a faixa etária revelada por este trabalho, que está (estatisticamente) menos envolvida em acidentes.

Embora a faixa etária com menor probabilidade de envolvimento em acidentes seja a de 40 a 49 anos, existem condutores fora dessa faixa etária com baixo índice de acidentes e o histórico desses condutores deve se considerado na contratação dos mesmos. Ainda, é passível de um estudo mais aprofundado os motivos pelos quais tais condutores têm um histórico com baixo índice de acidentes, pois este trabalho não analisou aspectos físicos e psíquicos dos condutores.

É passível de nota que a introdução dos parâmetros zona de impacto e faixa etária do condutor quando aplicados na seleção de rotas propicia uma maior segurança a população e a biota. Entretanto há de se considerar uma combinação entre os parâmetros contemplados na metodologia proposta e fatores econômicos para que o transporte seja viabilizado e o produto químico chegue ao seu destino. Isto em razão de que produtos químicos estão presentes e são imprescindíveis em todas as atividades do ser humano.

## 7 Anexo I

## Planilha de Cadastro de Acidentes de Trânsito com Produtos Perigosos

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO		PLANILHA DE CADASTRO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO COM PRODUTOS PERIGOSOS					
<b>DADOS GERAIS DO ACIDENTE</b>							
RODOVIA SP-	LOCAL KM + METROS	MUNICÍPIO	UF	BPRv	CIA	PEL	
DATA/HORA DO FATO	DATA/HORA DO ACIONAMENTO	POR QUEM? <input type="checkbox"/> 01-USUÁRIO DA VIA <input type="checkbox"/> 02-TELEFONEMA	<input type="checkbox"/> 03-PM 190 <input type="checkbox"/> 04-BOMBEIROS <input type="checkbox"/> 05-OUTROS	DATA/HORA NO LOCAL	DIA DA SEMANA		
TIPO DE ACIDENTE <input type="checkbox"/> 06-COLISÃO TRASEIRA <input type="checkbox"/> 07-COLISÃO FRONTAL <input type="checkbox"/> 08-COLISÃO LATERAL <input type="checkbox"/> 09-COLISÃO TRANSVERSAL <input type="checkbox"/> 10-CAPOTAMENTO <input type="checkbox"/> 11-TOMBAMENTO <input type="checkbox"/> 12-CHOQUE <input type="checkbox"/> 13-ENGAVETAMENTO <input type="checkbox"/> 14-ATROPELAM. ANIMAL <input type="checkbox"/> 15-ATROPELAM. PEDESTRE	<input type="checkbox"/> 16-SEQÜÊNCIA..... <input type="checkbox"/> 17-OUTROS.....  <b>DANO PATRIMONIAL</b> <input type="checkbox"/> 18-NÃO <input type="checkbox"/> 19-SIM, QUAIS? .....	IMPACTO AO MEIO AMBIENTE <input type="checkbox"/> 20-NÃO <input type="checkbox"/> 21-CONTAMINAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS Nome do curso d'água..... <input type="checkbox"/> 22-CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA <input type="checkbox"/> 23-CONTAMINAÇÃO DE SOLO <input type="checkbox"/> 24-CONTAMINAÇÃO DE ALIMENTOS <input type="checkbox"/> 25-IMPACTO A FAUNA <input type="checkbox"/> 26-IMPACTO A FLORA <input type="checkbox"/> 27-IMPACTO NO ABASTECIMENTO DE ÁGUA <input type="checkbox"/> 28-OUTROS.....	SINALIZAÇÃO HORIZONTAL <input type="checkbox"/> 29-BOA <input type="checkbox"/> 30-PREJUDICADA <input type="checkbox"/> 31-EM MÁS CONDIÇÕES <input type="checkbox"/> 32-NÃO HÁ  SINALIZAÇÃO VERTICAL <input type="checkbox"/> 33-BOA <input type="checkbox"/> 34-PREJUDICADA <input type="checkbox"/> 35-EM MÁS CONDIÇÕES <input type="checkbox"/> 36-NÃO HÁ	CONSEQUÊNCIAS <input type="checkbox"/> 37-VAZAMENTO <input type="checkbox"/> 38-INCÊNDIO <input type="checkbox"/> 39-DERRAMAMENTO <input type="checkbox"/> 40-EXPLOSAO <input type="checkbox"/> 41-QUEDA DE CARGA <input type="checkbox"/> 42-EMBALAGENS AVARIADAS <input type="checkbox"/> 43-OUTROS.....			
CONDIÇÕES DO TEMPO <input type="checkbox"/> 44-BOM <input type="checkbox"/> 45-NUBLADO <input type="checkbox"/> 46-ENCOBERTO COM NEBLINA <input type="checkbox"/> 47-CHUVA <input type="checkbox"/> 48-OUTROS.....	SUPERFÍCIE DA PISTA <input type="checkbox"/> 49-SECA <input type="checkbox"/> 50-MOLHADA <input type="checkbox"/> 51-ENLAMEADA <input type="checkbox"/> 52-OLEOSA <input type="checkbox"/> 53-OUTROS.....	CAUSAS <input type="checkbox"/> 54-VEÍCULO <input type="checkbox"/> 55-VIA <input type="checkbox"/> 56-CONDUTOR <input type="checkbox"/> 57-OUTROS	TIPO DE PISTA <input type="checkbox"/> 58-SIMPLES <input type="checkbox"/> 59-DUPLA <input type="checkbox"/> 60-MULTIPLA	MÃO DE DIREÇÃO <input type="checkbox"/> 61-UNICA <input type="checkbox"/> 62-DUPLA	FUMAÇA <input type="checkbox"/> 63-SIM <input type="checkbox"/> 64-NÃO	QUANTIDADE ESTIMADA (Kg, m³ ou l) 65-TRANSPORTADA..... 66-VAZADA.....	
<b>UNIDADE TRANSPORTANDO PRODUTO PERIGOSO</b>							
PLACA	MUNICÍPIO	UF	ESPÉCIE <input type="checkbox"/> 67-PASSAGEIRO <input type="checkbox"/> 68-CARGA	<input type="checkbox"/> 69-MISTO <input type="checkbox"/> 70-TRAÇÃO	TIPO DA UNIDADE DE TRANSPORTE <input type="checkbox"/> 79-AUTOMÓVEL <input type="checkbox"/> 80-CAMINHÃO <input type="checkbox"/> 81-CAMINHÃO+SEMI-REBOQUE OU REBOQUE <input type="checkbox"/> 82-CAMINHONETE <input type="checkbox"/> 83-CAMIONETA <input type="checkbox"/> 84-COMBINAÇÕES VEÍCULOS CARGA - CVC <input type="checkbox"/> 85-OUTROS.....	EQUIPAMENTO DE TRANSPORTE <input type="checkbox"/> 86-CARGA FECHADA <input type="checkbox"/> 87-CARGA ABERTA <input type="checkbox"/> 88-TANQUE <input type="checkbox"/> 89-CONTAINER TANQUE <input type="checkbox"/> 90-CONTAINER BOX <input type="checkbox"/> 91-VASO DE PRESSÃO	
PLACA 1º UNIDADE TRACIONADA	MUNICÍPIO	UF	ESPÉCIE <input type="checkbox"/> 71-PASSAGEIRO <input type="checkbox"/> 72-CARGA	<input type="checkbox"/> 73-MISTO <input type="checkbox"/> 74-TRAÇÃO			
PLACA 2º UNIDADE TRACIONADA	MUNICÍPIO	UF	ESPÉCIE <input type="checkbox"/> 75-PASSAGEIRO <input type="checkbox"/> 76-CARGA	<input type="checkbox"/> 77-MISTO <input type="checkbox"/> 78-TRAÇÃO			
TACÓGRAFO <input type="checkbox"/> 92-EXISTENTE <input type="checkbox"/> 93-INEXISTENTE <input type="checkbox"/> 94-COM DEFEITO <input type="checkbox"/> 95-NÃO EXIGIDO	CERTIFICADO CAPACITAÇÃO <input type="checkbox"/> 96-VÁLIDO <input type="checkbox"/> 97-VENCIDO <input type="checkbox"/> 98-NÃO PORTA <input type="checkbox"/> 99-NÃO EXIGIDO	RÓTULO DE RISCO <input type="checkbox"/> 100-CORRETO <input type="checkbox"/> 101-INCORRETO <input type="checkbox"/> 102-INEXISTENTE <input type="checkbox"/> 103-NÃO EXIGIDO	PAINEL DE SEGURANÇA <input type="checkbox"/> 104-CORRETO <input type="checkbox"/> 105-INCORRETO <input type="checkbox"/> 106-INEXISTENTE	CONJUNTO DE EQUIPAMENTOS P/ SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA <input type="checkbox"/> 107-COMPLETO <input type="checkbox"/> 108-INCOMPLETO <input type="checkbox"/> 109-INEXISTENTE <input type="checkbox"/> 110-UTILIZADO <input type="checkbox"/> 111-NÃO UTILIZADO	ESTADO GERAL DO VEÍCULO <input type="checkbox"/> 112-BOM <input type="checkbox"/> 113-MAU <input type="checkbox"/> 114-SEM INFORMAÇÃO	CONDIÇÃO DO VEÍCULO <input type="checkbox"/> 115-COM CARGA <input type="checkbox"/> 116-VAZIO E CONTAMINADO <input type="checkbox"/> 117-DESCONTAMINADO	
<b>CONDUTOR DA UNIDADE DE TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS</b>							
Nº REGISTRO CNH / PERMISSÃO	CATEGORIA <input type="checkbox"/> 118 - A <input type="checkbox"/> 119 - B <input type="checkbox"/> 120 - C <input type="checkbox"/> 121 - D <input type="checkbox"/> 122 - E <input type="checkbox"/> 123-INABILITADO <input type="checkbox"/> 124-CATEGORIA DIFERENTE	CONDIÇÃO <input type="checkbox"/> 125-ILESO <input type="checkbox"/> 126-LEVE <input type="checkbox"/> 127-GRAVE <input type="checkbox"/> 128-FATAL	AGRAVO A SAUDE INTOXICADO <input type="checkbox"/> 129-SIM <input type="checkbox"/> 130-NÃO	HOSPITALIZADO <input type="checkbox"/> 131-SIM <input type="checkbox"/> 132-NÃO QUAL HOSPITAL? .....	EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI) <input type="checkbox"/> 133-COMPLETO <input type="checkbox"/> 134-INCOMPLETO <input type="checkbox"/> 135-INEXISTENTE <input type="checkbox"/> 136-UTILIZADO <input type="checkbox"/> 137-NÃO UTILIZADO		
HABILITADO HÁ: .....	CURSO MOPPE .....						
IDADE .....	SEXO <input type="checkbox"/> M(133) <input type="checkbox"/> F(134)						
<b>PRODUTO(S) PERIGOSO(S) TRANSPORTADO(S)</b>							
Nº ONU	CLASSE OU SUBCLASSE	Nº NOTA FISCAL	Nº FORMULÁRIO	DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE DO EXPEDIDOR <input type="checkbox"/> 138-IMPRESSA <input type="checkbox"/> 139-ASSINADA <input type="checkbox"/> 140-FALTA DA DECLARAÇÃO <input type="checkbox"/> 141-DECLARAÇÃO SEM ASSINATURA	TIPO DE CARGA <input type="checkbox"/> 142-EMBALADA (FRACIONADA) <input type="checkbox"/> 143-GRANEL		
Nº ONU							
Nº ONU							
Nº ONU		RISCOS <input type="checkbox"/> 144-UM PRODUTO, UM RISCO <input type="checkbox"/> 145-UM PRODUTO COM RISCO SUBSIDIÁRIO <input type="checkbox"/> 146-VÁRIOS PRODUTOS COM O MESMO RISCO <input type="checkbox"/> 147-VÁRIOS PRODUTOS COM RISCOS DIFERENTES		ACONDICIONAMENTO DO PRODUTO <input type="checkbox"/> 148-CARGA À GRANEL <input type="checkbox"/> 149-LATAS <input type="checkbox"/> 150-SACOS <input type="checkbox"/> 151-CAIXAS <input type="checkbox"/> 152-BOMBONAS <input type="checkbox"/> 153-TAMBORES <input type="checkbox"/> 154-CILINDROS <input type="checkbox"/> 155-IBC'S <input type="checkbox"/> 156-VIDROS <input type="checkbox"/> 157-OUTROS.....			
Nº ONU							
<b>TRANSPORTADOR</b>							
NOME	CNPJ OU CPF	ENDEREÇO	MUNICÍPIO	UF			
<b>EXPEDIDOR</b>							
NOME	CNPJ	ENDEREÇO	MUNICÍPIO	UF			
<b>DESTINATÁRIO</b>							
NOME	CNPJ OU CPF	ENDEREÇO	MUNICÍPIO	UF			



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIQUIM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. **Manual para Atendimento de Emergências**. São Paulo: Pró-Química - ABIQUIM, 2009.
- ARAÚJO, M. R.; MARCHINI, P. P. **Relação de Acidentes Ocorridos nas Rodovias do Estado de São Paulo**. DER - Secretaria dos Transportes do Estado de São Paulo, fornecido em CD, jan. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Informação e documentação - referências - elaboração**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000. (NBR 6023).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Informação e documentação - livros e folhetos - apresentação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000. (NBR 6029).
- AUTOBAN – CCR. Disponível: <<http://www.autoban.com.br>>. Acesso em: 19 jun. 2009.
- BARILLA, D. *et al.* Risk Assessment for Hazardous Materials Transportation. **Applied Mathematical Sciences**, v. 3, p.2295-2309, 2009.
- BRAINARD, J. *et al.* Assessing hazardous waste transport risk using a GIS. **International Journal of Geographical Information Systems**, London, UK, p. 831-849, 1996.
- CASSINI, Philippe. Road transportation of dangerous goods: quantitative risk assessment and route comparison. **Journal of Hazardous Materials**, v. 61, p. 133-138, 1998.
- CCPS – CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. **Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis**. 2. ed. New York: Center For Chemical Process Safety, 2000. 800 p.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos - 2000**. São Paulo. CETESB, 2000.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Gerenciamento de Riscos**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/riscos/apresentacao/introducao.asp>>. Acesso em: 12 mar. 2009.
- COSTA, Carlos Eduardo M. **Volumes diários de tráfego de veículos nas Rodovias Anhanguera e Bandeirantes**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <Luiz Carlos Hartman>. em: 17 dez. 2008.
- CPRH – COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE, **Projeto Ambiental no Estado de Pernambuco**. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/sec-acprh/ctudo-gtz-2007-proj-11.asp>>. Acesso: em 27 de out. de 2008.

DADKAR, Y. *et al.* Identifying geographically diverse routes for the transportation of hazardous materials. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 44, p. 333-349. 2008.

DDCSC – DEPARTAMENTO DE DEFESA CIVIL DO ESTADO DE SANTA CATARINA: **Produtos Perigosos**. Disponível em: <[http://www.defesacivil.sc.gov.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=95&Itemid=135](http://www.defesacivil.sc.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=95&Itemid=135)>. Acesso: em 25 de jul. de 2009.

DER – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO: **Normas para Projetos, Construção e Manutenção**. Disponível em: <<http://www.der.sp.gov.br>>. Acesso: em 2 de jun. de 2009.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias (Ed.). **Instruções para a fiscalização do transporte rodoviário de produtos perigosos no âmbito nacional**. Rio de Janeiro: DNER, 2002. 44 p.

DOT. U. S. Department of Transportation Research. **Guidelines for Applying to Designate Routes for Transporting Hazardous Materials. Report DOT/RPSA/OHMT-89-02**. Research ADN Special Programs Administration - June 1989. Disponível <<http://www.phmsa.dot.gov/staticfiles/PHMSA/DownloadableFiles/Files/riskprog.pdf>>. Acesso em 12 de jan. 2009.

DOT. U. S. Department of Transportation Research. **Biennial Report on Hazardous Materials Transportation Calendar Years 1996 – 1997**. Washington, DC, 1999. 255 p.

DOT. U. S. Department of Transportation Research. **Risk Based Decision Making in the Hazardous Materials Safety Program July 1998**. Disponível <<http://www.phmsa.dot.gov/staticfiles/PHMSA/DownloadableFiles/Files/riskprog.pdf>>. Acesso em 13 de nov. 2008.

DOT. U. S. Department of Transportation Research. **Ten Year Hazardous Materials Incident Data**. Disponível <<http://www.phmsa.dot.gov/staticfiles/PHMSA/DownloadableFiles/Files/tenyr.pdf>>. Acesso em 1º de abril de 2009.

ERKUT, E.; VERTER, V. A. Framework for Hazardous Materials Transport Risk Assessment. **Society For Risk Analysis**, New York, p. 589-601. May 1995.

ERKUT, Erhan; INGOLFSSON, Armann. Catastrophe Avoidance Models for Hazardous Materials Route Planning. **Transportation Science**, Alberta, Canada, p. 165-179. May 2000.

FAZZALARO, James J. Elderly; Statistical Information; Driver Licenses; Legislation; Motor Vehicles. **OLR Research Report**, v R -0021, pp 1-14, 2002.

FERREIRA, C. E. C. **Acidentes com Motoristas no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos**. 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/spp/v17n2/a08v17n2.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2009.

FOEN – Federal Office for the Environment. **Wood Resource Policy: Strategy, Objectives and Action Plan for the Resource Wood.** Disponível em: <<http://www.bafu.admin.ch/org/ziele/index.html?lang=en>>. Acesso em: 28 jun. 2009.

FRICKE, G. T. **Vulnerabilidade do sistema de abastecimento de água de Campinas a acidentes com o transporte de produtos perigosos.** 1992. Dissertação (Mestrado) – UNICAMP, Campinas.

GOOGLE – Maps Brasil. Disponível em: <[http://maps.google.com.br/maps?utm\\_campaign=pt\\_BR&utm\\_source=pt\\_BR-ha-latam-br-bk-gm&utm\\_medium=ha&utm\\_term=googlemaps](http://maps.google.com.br/maps?utm_campaign=pt_BR&utm_source=pt_BR-ha-latam-br-bk-gm&utm_medium=ha&utm_term=googlemaps)>. Acesso em: 5 maio 2009.

GRATT, Lawrence B. Risk analysis or risk assessment: a proposal for consistent definitions. In: COVELLO, Vincent T. et al. **Uncertainty in Risk Assessment, Risk Management and Decision Making.** 2. ed. p. 241-248. New York: N. Y.:Plenum, 1987.

HARTMAN, L. C. Sistemas de Detecção e Alarme de Incêndios. **CIPA**, v. 211, p.118-120, 1997.

HARTMAN, L. C. Uma Correlação entre Acidente com Carga Perigosa e a Idade do Condutor. **CIPA**, v. 284, p.64-69, 2003.

HARTMAN, L. C. **Uma metodologia para avaliação do risco do transporte de produtos perigosos por meio rodoviário.** 2003. Dissertação (Mestrado) - UNICAMP, Campinas.

HARWOOD, D. *et al.* Truck Accident Rate Model for Hazardous Materials Routing in the Transportation of Hazardous Materials. **Transportation Research Board**, v 1264, p. 12-23, 1990.

HORBY, Albert Sydney. **Oxford Advanced Learner's Dictionary.** 7. ed. USA: Oxford University, 2007. 1900 p.

HOUAISS, Antonio. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa.** Rio de Janeiro. RJ: Objetiva, 2009.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTÍSTICA. **Estimativas das Populações Residentes em 1º de julho de 2008.** Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2008/POP\\_2008\\_TCU.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2008/POP_2008_TCU.pdf)>. Acesso em: 4 maio 2009.

ICF, CONSULTING. **Risk Management Framework for Hazardous Materials Transportation.** 1. ed. Virginia: ICF - Consulting, 2000. 31 p.

IPEM – INSTITUTO DE PESOS E MEDIDAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Conversor de Unidades de Medição.** Disponível em: <<http://www.ipem.sp.gov.br/5mt/cv2/index.htm>>. Acesso em: 4 maio 2009.

LEONELLI, P. *et al.* Hazardous materials transportation: a risk-analysis-based routing methodology. **Journal of Hazardous Materials**, v. 71, p. 283-300, 2000.

LLEWELLYN, G. Strategic risk assessment: prioritizing environmental protection. **Journal of Hazardous Materials**, v. 61, p. 279-286, 1998.

LOPES, J. N. P.; PAULO, J. E.. **Segurança e Higiene no Trabalho**. São Bernardo do Campo, SP: FEI, 2001.

LÓPEZ, Roberto Martínez-Alegría; ORDOÑEZ, C. A Conceptual Model for Analyzing the Risks Involved in the Transportation of Hazardous Goods: Implementation in a Geographic Information System. **Human and Ecological Risk Assessment an International Journal**, v. 9, p. 857-879, 2003.

LÓPEZ, Roberto Martínez-Alegría. **Riesgos Ambientales en el Tráfico de Mercancías Peligrosas por Carretera**. 2005. Tesis (Doctoral). Universidad de Vigo, Vigo, Espanha.

MERKHOFFER, Miley W. **Decision Science and Social Risk Management: Technology, Risk, and Society**. Dordrecht, Holland: Springer, 1987. 330 p.

MIZUTANI, Romeu T. Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo. **Informações sobre acidentes com produtos perigosos**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <Luiz Carlos Hartman> em: 14 mar. 2003.

MONNIER, M. Nicolet; GHEORGHE, Adrian, V.. **Quantitative Risk Assessment of Hazardous Materials Transport Systems: Rail, Road, Pipelines and Ship**. Bradford, UK: A. Z. Keller, Department of Industrial Technology and Management. - University of Bradford, 1996.

MORAES, Anna Maris Pereira de. **Iniciação ao Estudo da Administração**. São Paulo: Makron Books do Brasil, 2001. 184 p.

MTE – MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, **Relação Anual Informações Sociais - RAIS: Banco de Dados**. Disponível em: <<http://www.rais.gov.br/>>. Acesso em 3 de jan. 2009

NAS - NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Transportation Research Board. **Criteria for Highway Routing of Hazardous Materials**. NW, Washington, D.C: Transportation Research Board., 1998. 38 p.

NACD – NATIONAL ASSOCIATION OF CHEMICAL DISTRIBUTORS (USA). **The Responsible Distribution Process: A Roadmap to Success**. Arlington, 2008.

NAS – NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Committee on Risk Characterization. **Understanding Risk: Informing Decisions in a Democratic Society**. Washington, Dc: The National Academies, 1996. 264 p.

PARDUBSKY, L. C. **Relação de Condutores Habilitados para Dirigir Cargas Perigosas no Estado de São Paulo**, DETRAN/SP, fornecido em CD, jan. 2009.

PEREIRA, Maria Isabel; FERREIRA, Ademir Antonio; REIS, Ana Carla Fonseca. **Gestão Empresarial: De Taylor Aos Nossos Dias**. São Paulo, SP: Thomson Pioneira, 2000. 262 p.

PIJAWAKA, D. *et al.* Risk Assessment of Transporting Hazardous Material: Route Analysis and Hazard. **Transportation Research Record**, v. 1020, p. 1-6, 1985.

PIPELINE AND HAZARDOUS MATERIALS SAFETY ADMINISTRATION (PHMSA) (USA). U.S. Department of Transportation. **2008 Emergency Response Guidebook**. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, 2009. 416 p.

PMRESP – POLÍCIA MILITAR RODOVIÁRIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Resumo Anual disponível de 1997-2009**. Disponível em <<http://www.polmil.sp.gov.br/unidades/cprv/estatistica.asp>>. Acesso em 15 jan. 2009.

RAMOS, F. B. **Metodologia para Escolha de Alternativas de Rotas Para o Transporte de Materiais Perigosos**. 1997. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

REAL, M. V.; BRAGA, M.G.C. Controle de riscos no transporte rodoviário de produtos perigosos no Brasil – Uma proposta. In: XIV ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Gramado. **Anais do XIV ANPET**, 2000.

REJDA, George E. **Principles of Risk Management and Insurance**. 10th London, GB: Pearson Education, 2007. 747 p.

RHYNE, R. William. Evaluating Routing Alternatives for Transporting Hazardous Materials Using Simplified Risk Indicators and Complete Probabilistic Risk Analyses. **Transportation Research Record Board**, v.1264, pp. 1-11, 1990.

RHYNE, R. William. **Hazardous Materials Transportation Risk: Quantitative Approaches for Truck and Train**. New York, N. Y.: Wiley, 1994.

ROWE, D. William. Risk Assessment Processes for Hazardous Materials Transportation. **Transportation Research Record Board**, v. 103, pp. 1-27, 1983.

RUEDA, M. *et al.* Desarrollo de una Aplicación de Sistema de Información Geográfica para el Análisis Interactivo de los Riesgos Asociados al Transporte de Mercancías Peligrosas. In: Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Santander. **Paper de lo ENGEGRAF**, 2002.

SACCOMANNO, Frank. F.; CHAN, A.Y. W. Economic Evaluation of Routing Strategies for Hazardous Road Shipments. **Transportation Research Record**, v. 1020, p. 12-18, 1985.

SCALON, Raymond D.; CANTILLI, Edmund E. Assessing the Risk and Safety in the Transportation of Hazardous Materials. **Transportation Research Record Board**, v. 1020, p. 6-11, 1985.

SETESP – Secretaria dos Transportes do Estado de São Paulo. **Transporte de Produtos Perigosos no Vale do Ribeira**. Disponível em: <<http://www.sectran.sp.gov.br/noticias/Subcomiss%C3%A3o%20de%20Produtos%20Perigosos%20do%20Vale%20do%20Ribeira.htm>>. Acesso em: 28 dez. 2008.

SLAC - Stanford Linear Accelerator Center - ES&H Division. **ES&H Manual, SLAC Radiological Controls Manual, SLAC's Radioactive Waste Manual** - SLAC-760-0A30C002, "Shipping and Receiving Radioactive Material". Disponível em: <<http://www-group.slac.stanford.edu/esh/documents/hazmatTransportSafety.pdf>>. Acesso em 18 de jan. 2010.

SLACK, N. *et al.* **Operations Management**. 5. ed. London, GB: Prentice Hall, 2007. 727 p.

STERN, Paul C.; FINEBERG, Harvey V. Understanding Risk: Informing Decisions in a Democratic Society. **Committee on Risk Characterization, National Research Council**, Washington, DC, p.230-264, set. 1996.

TAC – TRANSPORT ACCIDENT COMISSION. **Driver Age Risk**. Disponível em: <<http://www.tac.vic.gov.au/jsp/content/NavigationController.do?areaID=25&tierID=1&navID=66A76E077F000001013C750C0ECECCC8&navLink=null&pageID=148>>. Acesso em 25 jan. 2009.

TORREIRA, Raul Pergallo. **Manual de Segurança Industrial**. São Paulo: Raul Pergallo Torreira, 1999. 1036 p.

UDESC - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Pesquisa sobre o Transporte de Produtos Perigosos**. Disponível em: <<http://www.udesc.br>>. Acesso em: 31 out. 2002.

VALLE, Cyro Eyer do. **Qualidade Ambiental: O Desafio de Ser Competitivo Protegendo o Meio Ambiente**. São Paulo: Pioneira, 1995. 117 p.

ZANIRATO, Silvia Helena *et al.*, Sentidos do risco: interpretações teóricas. **Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales**, v. 785, p.2-12, 2008.

ZEGEER, V. Charles. Highway Accident Analysis Systems. **Transportation Research Record Board**, v. 91, pp 01-69, 1982.

UDESC - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Pesquisa sobre o Transporte de Produtos Perigosos**. Disponível em: <<http://www.udesc.br>>. Acesso em: 31 out. 2002.