

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**METODOLOGIA PARA ESCOLHA DE ALTERNATIVAS DE
ROTAS PARA O TRANSPORTE DE MATERIAIS PERIGOSOS**

Fernando Batista Ramos

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO a
Universidade Federal de Santa Catarina, como
requisito final para obtenção do título de Mestre em
Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. ANTÔNIO GALVÃO
NOVAES



O. 266. 118-7

MAIO DE 1997.
FLORIANÓPOLIS
SANTA CATARINA - BRASIL

UFSC-BU



METODOLOGIA PARA ESCOLHA DE ALTERNATIVAS DE ROTAS PARA O TRANSPORTE DE MATERIAIS PERIGOSOS

Fernando Batista Ramos

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

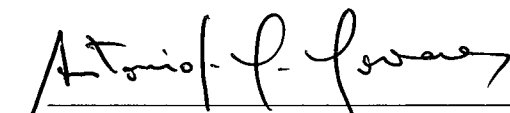
MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Área de concentração TRANSPORTE E LOGÍSTICA - aprovada em sua forma final pelo curso PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS



Ricardo Miranda Barcia, PH.D
Coordenador do Curso


BANCA EXAMINADORA:



Prof.º Dr. Antônio Galvão Novaes
Orientador



Prof.º Dr. Amir Mattar Valente



Prof.º Dr. João Carlos Sousa

DEDICATÓRIA

A minha companheira de todas
as horas, amiga e incentivadora,
minha noiva: Cláudia

AGRADECIMENTOS

A elaboração desta dissertação foi possível graças a contribuição de pessoas e instituições as quais manifesto o meu sincero agradecimento, e de forma muito especial as seguintes pessoas e entidades:

Ao Prof.º Antônio Galvão Novaes pela amizade, apoio, estímulo e inestimável orientação ao longo de todo o curso

Ao CNPq pelo auxílio financeiro durante todo o curso

Ao Prof.º Amir Mattar Valente pela maneira cordial e atenciosa que sempre nos destinou, quando da obtenção de dados estatísticos.

Ao Prof.º João Carlos de Sousa pelo apoio e orientação na elaboração final da dissertação.

À Sra. Julia Barbosa Batista, pela revisão ortográfica

À coordenação, secretária e corpo docente do Curso de Pós-Graduação de Engenharia de Produção.

Ao funcionários do: DNER, DER, CETREM/SUL, Polícia Rodoviária Federal e Estadual, pelo apoio e atendimento, contribuindo de forma valiosa na obtenção dos dados.

Enfim a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a elaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	III
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE QUADROS.....	X
RESUMO.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1 - INTRODUÇÃO.....	01
1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO.....	01
1.1.1. OBJETIVO GERAL.....	01
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	01
1.1.3. IMPORTÂNCIA DO TRABALHO.....	01
2 . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	03
2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	03
2.2. TENDÊNCIAS NO TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS.....	05
2.3. PANORAMA DAS RODOVIAS CATARINENSES.....	06
2.4. PANORAMA DA INDÚSTRIA CATARINENSE.....	07
2.5. PANORAMA DA AÇÃO INSTITUCIONAL DE AUXILIO TÉCNICO COMPLEMENTAR ABIQUIM - PROGRAMA "PRÓ-QUÍMICA".....	08
3. PROGRAMA ATUAÇÃO RESPONSÁVEL - RESPONSIBLE CARE.....	10
3.1. QUALIDADE NO TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS EM SANTA CATARINA.....	10
3.2. METODOLOGIA PARA COLETA DE DADOS PARA A APLICAÇÃO DA PESQUISA DO CETREM/SUL.....	12
3.3. SITUAÇÃO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS NO ESTADO DE SANTA CATARINA.....	13
3.4. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO PROGRAMA ATUAÇÃO RESPONSÁVEL - RESPONSIBLE CARE.....	13
3.4.1. RESULTADOS GLOBAIS NO ESTADO DE SANTA CATARINA.....	13
3.4.1.1. FREQUÊNCIA DA CLASSE DOS PRODUTOS PERIGOSOS TRANSPORTADOS NO ESTADO DE SANTA CATARINA.....	14
3.4.1.2. FREQUÊNCIA DOS TIPOS DE PRODUTOS PERIGOSOS TRANSPORTADOS NO ESTADO DE SANTA CATARINA.....	14

3.4.1.3. CONDIÇÕES GERAIS DOS VEÍCULOS EM SANTA CATARINA.....	15
3.4.1.4. CONDIÇÕES DE TRANSPORTE DA CARGA DE PRODUTOS PERIGOSOS EM SANTA CATARINA.....	15
3.4.1.5. SIMBOLOGIA ADEQUADA EM SANTA CATARINA.....	17
3.4.1.6. EXISTÊNCIA DE EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL E COLETIVA EM SANTA CATARINA.....	17
3.4.1.7. CONHECIMENTO DA CARGA QUE TRANSPORTA EM SANTA CATARINA.....	18
3.4.1.8. TREINAMENTO DO MOTORISTA EM SANTA CATARINA.....	18
3.4.2. RESULTADOS PONTUAIS DE CLASSES E TIPOS NO ESTADO DE SANTA CATARINA.....	19
4. CARACTERÍSTICAS DE ACIDENTES.....	25
4.1. ACIDENTES E DADOS ESTATÍSTICOS.....	25
4.2. ACIDENTES E EXPOSIÇÃO.....	26
4.3. ACIDENTES COM MATERIAIS PERIGOSOS.....	27
4.4. ACIDENTES DE TRÂNSITO.....	28
4.4.1. ACIDENTES DE TRÂNSITO COM CARGA PERIGOSA.....	28
4.4.2. FREQUÊNCIAS DE ACIDENTES ANUAIS.....	29
4.4.3. TIPO DE ACIDENTE.....	29
4.4.4. TIPO DE CARGA ENVOLVIDA.....	30
4.4.5. CONSEQUÊNCIAS DOS ACIDENTES.....	30
5. ESTIMATIVA DE RISCOS PARA O FLUXO DE MATERIAIS PERIGOSOS.....	31
6. SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RISCOS DE PRODUTOS PERIGOSOS....	32
7. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE ROTAS.....	35
7.1. AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE ROTAS DE TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS.....	35
7.2. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE ROTAS APLICÁVEIS À REALIDADE CATARINENSE.....	36
7.2.1 AVALIAÇÃO DE ROTAS ALTERNATIVAS PARA O TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS E SUBMISSOS A ACIDENTES PLICANDO-SE INDICADORES DE RISCOS SIMPLIFICADOS.....	36
7.2.2 MODELO DE TAXA DE ACIDENTE COM CAMINHÕES PARA A DETERMINAÇÃO DE ROTAS PARA MATERIAIS PERIGOSOS.....	37
7.2.2.1. DETERMINAÇÃO DAS TAXAS DE ACIDENTES COM CAMINHÕES.....	38
7.2.2.1.1. PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	39
7.2.2.1.2. ANÁLISE DOS DADOS.....	41
7.2.2.2. DETERMINAÇÃO DAS PROBABILIDADES DE VAZAMENTO DE MATERIAIS PERIGOSOS.....	42

7.2.2.3. PROCEDIMENTOS REVISADOS PARA A DETERMINAÇÃO DAS TAXAS DE ACIDENTES.....	43
7.2.2.4. EXEMPLO NUMÉRICO.....	46
7.2.3. AVALIAÇÃO DE RISCO E SEGURANÇA NO TRANSPORTE DE MATERIAIS PERIGOSOS.....	50
7.2.3.1.UM MODELO PROPOSTO PARA A AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DA COMUNIDADE.....	50
7.2.4 AVALIAÇÃO DE RISCO DO TRANSPORTE DE MATERIAL PERIGOSO: ANÁLISE DE ROTA E GERENCIAMENTO DE RISCO.....	54
7.2.4.1. AVALIAÇÃO DO RISCO DO TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS.....	54
7.2.4.2. AVALIAÇÃO DO RISCO NO TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS NO ARIZONA.....	55
7.2.4.2.1. ETAPAS NA ANÁLISE DO RISCO.....	55
7.2.4.2.1.1. IDENTIFICAÇÃO DO PADRÃO DE PRODUTOS PERIGOSOS E FLUXO DE TRANSPORTE.....	55
7.2.4.2.1.2. DETERMINAÇÃO DE QUILOMETROS-EXPOSIÇÃO.....	55
7.2.4.2.1.3. PROBABILIDADE DE ACIDENTE COM PRODUTOS PERIGOSOS.....	56
7.2.4.2.1.4. FATOR DE POPULAÇÃO EM RISCO.....	56
7.2.4.3. USO DA GRADUAÇÃO DE RISCO POTENCIAL EM PROJETO ALTERNATIVO DE AVALIAÇÃO DE RISCO.....	56
8. MODELO PROPOSTO.....	58
8.1.JUSTIFICATIVA.....	58
8.2.METODOLOGIA PROPOSTA.....	59
8.2.1 DETERMINAÇÃO DAS ROTAS QUE COMPORÃO A MALHA.....	60
8.2.1.1. ESCOLHA DO PONTO DE ORIGEM E DO PONTO DESTINO.....	60
8.2.1.2. DETERMINAÇÃO DAS ROTAS.....	60
8.2.1.3. DETERMINAÇÃO DOS TRECHOS DAS RODOVIAS.....	60
8.2.1.4. CLASSIFICAÇÃO DOS TRECHOS PELO TIPO DE ÁREA EM RURAL E URBANA.....	61
8.2.1.5. CLASSIFICAÇÃO DAS RODOVIAS PELA CLASSE.....	61
8.2.2. OBTENÇÃO DOS DADOS.....	61
8.2.3. PROCESSAMENTOS DOS DADOS.....	62
8.2.3.1. FREQUÊNCIA ANUAL DE ACIDENTES COM CAMINHÕES POR QUILOMETRO DA RODOVIA. (AC).....	62
8.2.3.2. TAXA ESPERADA DE ACIDENTES COM CAMINHÕES NO TRECHO DA RODOVIA. (TAR).....	63
8.2.3.3. NÚMERO ESTIMADO DE ACIDENTES COM CAMINHÕES NO TRECHO DA RODOVIA. (AE).....	64
8.2.3.4. TAXA DE VAZAMENTO. (TAV).....	66
8.2.3.5. TOTAL DE PESSOAS EXPOSTAS . (PEQ).....	66
8.2.3.6. RISCO POPULACIONAL.....	67

9. APLICAÇÃO.....	68
9.1. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA COM O USO DE DADOS PRÓPRIOS DE UM DEPARTAMENTO/ESTADO.....	68
9.1.1. DETERMINAÇÃO DAS ROTAS QUE COMPORÃO A MALHA.....	68
9.1.1.1. ESCOLHA DO PONTO DE ORIGEM E DO PONTO DESTINO.....	68
9.1.1.2. DETERMINAÇÃO DAS ROTAS.....	68
9.1.1.3. DETERMINAÇÃO DOS TRECHOS DAS RODOVIAS.....	69
9.1.1.4. CLASSIFICAÇÃO DOS TRECHOS PELO TIPO DE ÁREA EM RURAL E URBANA.....	69
9.1.1.5. CLASSIFICAÇÃO DAS RODOVIAS PELA CLASSE.....	70
9.1.2. OBTENÇÃO DOS DADOS.....	70
9.1.3. PROCESSAMENTOS DOS DADOS.....	70
9.1.4. MODELO APLICADO COM DADOS TEÓRICOS DA REALIDADE NORTE-AMERICANA.....	77
9.1.5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	77
10. CONCLUSÕES.....	83
11. RECOMENDAÇÕES.....	84
12 . BIBLIOGRAFIA.....	85

LISTA DE FIGURAS

3.1 - FLUXOGRAMA GERAL DO PROGRAMA RESPONSIBLE CARE.....	10
3.2 - FREQUÊNCIA DAS CLASSES DE PRODUTOS PERIGOSOS EM SANTA CATARINA.....	14
3.3 - FREQUÊNCIA DOS TIPOS DE PRODUTOS PERIGOSOS EM SANTA CATARINA.....	15
3.4 - CONDIÇÕES GERAIS DOS VEÍCULO EM SANTA CATARINA.....	16
3.5 - CONDIÇÕES DE TRANSPORTE DA CARGA DE PRODUTOS PERIGOSOS EM SANTA CATARINA.....	16
3.6 - SINALIZAÇÃO ADEQUADA EM SANTA CATARINA.....	17
3.7 - EXISTÊNCIA DE EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL E COLETIVA EM SANTA CATARINA.....	17
3.8 - CONHECIMENTO DA CARGA TRANSPORTADA EM SANTA CATARINA.....	18
3.9 - TREINAMENTO DO MOTORISTA EM SANTA CATARINA.....	19
3.10 - FREQUÊNCIA DAS CLASSES DE PRODUTOS PERIGOSOS NO TRECHO DA BR-101/PALHOÇA.....	19
3.11 - FREQUÊNCIA DOS TIPOS DE PRODUTOS PERIGOSOS NO TRECHO DA BR-101/PALHOÇA.....	20
3.12 - FREQUÊNCIA DAS CLASSES DE PRODUTOS PERIGOSOS NO TRECHO DA BR-101/JOINVILLE.....	20
3.13 - FREQUÊNCIA DOS TIPOS DE PRODUTOS PERIGOSOS NO TRECHO DA BR-101/JOINVILLE.....	21
3.14 - FREQUÊNCIA DAS CLASSES DE PRODUTOS PERIGOSOS NO TRECHO DA BR-101/ARARANGUÁ.....	21
3.15 - FREQUÊNCIA DAS CLASSES DE PRODUTOS PERIGOSOS NO TRECHO DA BR-101/ARARANGUÁ.....	22
3.16 - FREQUÊNCIA DAS CLASSES DE PRODUTOS PERIGOSOS NO TRECHO DA BR-116/LAGES.....	22
3.17 - FREQUÊNCIA DOS TIPOS DE PRODUTOS PERIGOSOS NO TRECHO DA BR-116/LAGES.....	23
3.18 - FREQUÊNCIA DAS CLASSES DE PRODUTOS PERIGOSOS NO TRECHO DA SC-474/BLUMENAU.....	23
3.19 - FREQUÊNCIA DOS TIPOS DE PRODUTOS PERIGOSOS NO TRECHO DA SC-474/BLUMENAU.....	24
7.1 - FLUXOGRAMA PASSO-A-PASSO DO PROCESSO PARA A OBTENÇÃO DOS DADOS DE GEOMETRIA, VOLUME DE TRÁFEGO DE CAMINHÕES E DADOS DE ACIDENTES.....	40

LISTA DE TABELAS

7.1. - DADOS PARA ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE ROTAS, SEGUNDO RHYNE.....	37
7.2. - SUMÁRIO QUALITATIVO DA ANÁLISE DO INDICADOR SIMPLES DE RISCO.....	37
7.3. - TABELA POISSON.....	45
7.4. - COMPARAÇÃO DAS TAXAS DE ACIDENTES COM CAMINHÕES UTILIZANDO O TESTE DE APROXIMAÇÃO - EXEMPLO 1.....	47
7.5. - AVALIAÇÃO DE RISCO PARA A DETERMINAÇÃO DE ROTAS DE MATERIAIS PERIGOSOS UTILIZANDO O MÉTODO FHWA REVISADO - EXEMPLO 1.....	48
7.6. - COMPARAÇÃO DAS TAXAS DE ACIDENTES COM CAMINHÕES UTILIZANDO O TESTE DE APROXIMAÇÃO - EXEMPLO 1.....	49
7.7. - AVALIAÇÃO DE RISCO PARA A DETERMINAÇÃO DE ROTAS DE MATERIAIS PERIGOSOS UTILIZANDO O MÉTODO FHWA REVISADO - EXEMPLO 1.....	50
9.1. - DISTRIBUIÇÃO DOS TRECHOS DAS RODOVIAS.....	69
9.2. - CLASSIFICAÇÃO DOS TRECHOS SEGUNDO O TIPO DE ÁREA EM URBANA E RURAL.....	69
9.3. - CLASSIFICAÇÃO DAS RODOVIAS PELA CLASSE DE GEOMETRIA.....	70
9.4. - VOLUMES MÉDIOS DIÁRIOS ANUAIS POR TRECHO E SUAS RESPECTIVAS EXTENSÕES.....	71
9.5. - FREQUÊNCIA DE ACIDENTES.....	71
9.6. - DENSIDADE DEMOGRÁFICA DOS TRECHOS.....	72
9.7. - COMPARAÇÃO DAS TAXAS DE ACIDENTES COM CAMINHÕES UTILIZANDO O TESTE DE APROXIMAÇÃO PARA A ROTA 1.....	73
9.8. - COMPARAÇÃO DAS TAXAS DE ACIDENTES COM CAMINHÕES UTILIZANDO O TESTE DE APROXIMAÇÃO PARA A ROTA 2.....	74
9.9. - AVALIAÇÃO DE RISCO PARA A DETERMINAÇÃO DE ROTAS DE MATERIAIS PERIGOSOS UTILIZANDO O MÉTODO FHWA REVISADO PARA A ROTA 1.....	75
9.10. - AVALIAÇÃO DE RISCO PARA A DETERMINAÇÃO DE ROTAS DE MATERIAIS PERIGOSOS UTILIZANDO O MÉTODO FHWA REVISADO PARA A ROTA 2.....	76
9.11. - COMPARAÇÃO DAS TAXAS DE ACIDENTES COM CAMINHÕES UTILIZANDO O TESTE DE APROXIMAÇÃO PARA OS DADOS TEÓRICOS EM CONDIÇÕES NORTE-AMERICANAS PARA A ROTA 1.....	78
9.12. - COMPARAÇÃO DAS TAXAS DE ACIDENTES COM CAMINHÕES UTILIZANDO O TESTE DE APROXIMAÇÃO PARA OS DADOS TEÓRICOS EM CONDIÇÕES NORTE-AMERICANAS PARA A ROTA 2.....	79
9.13. - AVALIAÇÃO DE RISCO PARA A DETERMINAÇÃO DE ROTAS DE MATERIAIS PERIGOSOS UTILIZANDO O MÉTODO FHWA REVISADO PARA OS DADOS TEÓRICOS EM CONDIÇÕES NORTE-AMERICANAS PARA A ROTA 1.....	80
9.14. - AVALIAÇÃO DE RISCO PARA A DETERMINAÇÃO DE ROTAS DE MATERIAIS PERIGOSOS UTILIZANDO O MÉTODO FHWA REVISADO PARA OS DADOS TEÓRICOS EM CONDIÇÕES NORTE-AMERICANAS PARA A ROTA 2.....	81

LISTA DE QUADROS

2.1. - EXTENSÃO DA REDE RODOVIÁRIA EM SANTA CATARINA, SEGUNDO A DEPENDÊNCIA ADMINISTRATIVA/94.....	07
2.2. - PANORAMA DA INDÚSTRIA CATARINENSE. EMPRESAS POR GÊNERO.....	08
3.1. - MODELO DO QUESTIONÁRIO APLICADO.....	11
4.1. - ACIDENTES COM VEÍCULOS TRANSPORTANDO CARGA PERIGOSA NAS RODOVIAS FEDERAIS DE SANTA CATARINA, SEGUNDO A POLICIA RODOVIÁRIA FEDERAL.....	29
4.2. - RELAÇÃO DE ACIDENTES, MORTOS E FERIDOS NAS RODOVIAS FEDERAIS DE SANTA CATARINA PARA O ANO DE 1995.....	29
7.2.3.1. - ÍNDICES DE RISCO COMUNITÁRIOS DE RAYMOND et alii (1985).....	53

RESUMO

No combate ao problema de acidentes com veículos que transportam produtos perigosos é importante definir estratégias que diminuam suas conseqüências trágicas.

Uma dessas estratégias é encontrar rotas que possuam o menor grau de risco possível à população.

Utilizando dados acessíveis como volume de tráfego, número de acidentes com veículos, densidade demográfica, podemos compor um índice de risco para comparar e traçar rotas que ofereçam alternativas para o transporte seguro de produtos perigosos

Portanto, o presente trabalho tem por objetivo propor uma metodologia para avaliar alternativas de rotas que movimentam produtos perigosos. Essa metodologia contempla o risco que uma determinada população está submetida quando o transporte desses produtos passam por suas rodovias.

Nossa metodologia está baseada no trabalho de Douglas et alii (1990) e nas diretrizes do DOT (Departamento de Transportes dos EUA), complementada pelo modelo de avaliação de risco mais largamente aceito para a identificação de rotas preferenciais para o transporte de materiais perigosos, o qual é apresentado nas diretrizes do DOT. Este modelo foi primeiramente apresentado na publicação de 1980 da FHWA- *Diretrizes para a aplicação de Critérios para o Transporte de Materiais Perigosos*.

Portanto, nossa metodologia é aplicada numa malha do estado de Santa Catarina, e aferindo o risco populacional que as rodovias selecionadas submetem a população diariamente.

ABSTRACT

Fighting the problem of accidents with vehicles that carry hazardous material it is important to specify strategies that decrease tragic consequences.

One of them is to find routes with less degrees of risk to population.

Using accessible data as traffic intensity, number of accidents with vehicles, demographic density, we will be able to find an index of risk to compare and make routes that give alternatives to a secure transportation of hazardous material.

So, this work has as objective to propose a methodology to value alternative routes that move hazardous material. That methodology contemplate the risk that a specific population is submit when the transport of those products go through their routes.

Our methodology is based on the work of Douglas et alii (1990) and on DOT (U.S. Department of Transportation) guidelines, complemented by the evaluation model of risk more accepted for priorities routes identification for hazardous material transportation, which is present on DOT directings. This model was first presented in the 1980 FHWA publication *Guidelines for Applying Criteria to Designate Routes for Transporting Hazardous Material*.

So, our methodology is applied in a net of Santa Catarina State, Brazil, and checking the risk to the population that the selected routes submit the population every day.

1 - INTRODUÇÃO

1.1. Objetivos do Trabalho

1.1.1. Objetivo Geral.

O objetivo geral desse trabalho é apresentar um modelo matemático que contemple uma avaliação de risco de determinadas rotas rodoviárias para o transporte de produtos perigosos.

O planejamento da prevenção dos acidentes com produtos perigosos ocorre nas várias fases do processo: produção, transporte, transformações, utilização e disposição final. Contudo o maior risco encontra-se no transporte, pois este expõe a carga à situações imprevisíveis, para as quais não há muitas técnicas que definam como controlar o risco devido a fatores adversos tais como: acidentes com outros veículos, condições de transporte e do trânsito, traçado da pista e de sua manutenção, habilidade e condição do motorista, etc..

Adicionalmente, há ainda os possíveis efeitos danosos sobre a comunidade local, o que faz com que aumente a preocupação com o controle deste risco.

No Estado de Santa Catarina, o nível de segurança obtido nas empresas equipara-se ao do primeiro mundo devido ao trabalho realizado pela integração das múltiplas atividades produtivas da iniciativa privada.

Somente no modal rodoviário da BR-101, circulam diariamente uma média de 600 veículos, transportando cargas inflamáveis, explosivas, corrosivas, tóxicas e oxidantes.

1.1.2. Objetivos Específicos.

O presente trabalho tem como objetivos específicos:

- 1) Identificar e analisar as várias metodologias para a avaliação de riscos.
- 2) Identificadas as metodologias adaptar uma delas à nossa realidade.
- 3) Subsidiar com os elementos citados acima, as ações das equipes multi-institucionais nas atividades de gerenciamento e planejamento, bem como o treinamento e apoio logístico destas equipes, na área de emergência e prevenção que envolvam o transporte de produtos perigosos.

1.1.3. Importância do Trabalho.

Podemos utilizar como parâmetro de desenvolvimento de um país a forma como está configurada a segurança relativa ao transporte de produtos perigosos e o grau de

cuidado e preparo tecnológico das equipes envolvidas, independentemente do volume transportado e seu grau de risco.

Tem-se observado que o Estado de Santa Catarina apresenta bons níveis de segurança do trabalho. Estes níveis são conseguidos através das atividades desenvolvidas por um eficiente corpo técnico e recursos humanos das empresas. Estes possibilitam o treinamento e gerenciamento no transporte de produtos perigosos, entre outros programas desenvolvidos, o que resulta do esforço de seus profissionais que constituem grupos altamente dinâmicos.

Logo o presente trabalho visa mostrar que é possível obter índices que auxiliem na avaliação de rotas alternativas para o transporte de produtos perigosos na malha rodoviária do Estado de Santa Catarina. E, com isso ampliar o nível de conhecimento da evolução do desempenho do transporte, favorecendo o planejamento dos órgãos responsáveis pela segurança de cada região envolvida na pesquisa.

2 . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

2.1. Considerações Gerais.

Atualmente em toda parte há reações químicas, umas triviais como a decomposição de uma folha ou ainda a combustão do GLP (gás de cozinha), outras das quais dependem a própria vida tais como a absorção do oxigênio pelas células ou ainda na transmissão de impulsos nervosos, enfim a vida é um conjunto de reações químicas. e o homem é capaz de provocar várias delas para obter produtos para o seu desenvolvimento e seu bem estar. Muitos destes produtos são inofensivos tanto para o homem como para a natureza, porém, há. outros que podem oferecer riscos quando não devidamente controlados.

Estimativas técnicas calculam a existência de aproximadamente quatro milhões de diferentes produtos químicos disponíveis em todo o mundo, os quais são de fundamental importância para o desenvolvimento econômico e tecnológico. Todo esse volume precisa ser transportado dos parques de produção para as unidades de transformação, e destas para o mercado consumidor. Esse transporte é realizado por via rodoviária, aeroviária, ferroviária, marítima e dutoviária. No entanto, destaca-se como de fundamental importância a via rodoviária, pois freqüentemente é a mais utilizada, além de também colaborar no transporte final dos outros modos.

Dentre os produtos químicos são encontrados alguns que dadas as suas características físico e químicas, podem oferecer, quando fora de controle, riscos ao homem e ao meio ambiente. Esses produtos são denominados PRODUTOS PERIGOSOS, e são classificados pela ONU em nove classes a saber:

- 1 Explosivos,
- 2 Gases Comprimidos,
- 3 Líquidos Inflamáveis,
- 4 Sólidos Inflamáveis,
- 5 Substâncias Oxidantes,
- 6 Substâncias Tóxicas,
- 7 Substâncias Radioativas,
- 8 Corrosivos e
- 9 Substâncias Perigosas Diversas.

O planejamento da prevenção dos acidentes com produtos perigosos ocorre nas várias fases do processo: produção, transporte, transformações, utilização e disposição final. Contudo o maior risco encontra-se no transporte, pois este expõe a carga à situações em que não há como prever ou controlar o risco devido a fatores adversos tais como: acidentes com outros veículos, condições de transporte e do trânsito, traçado da pista e de sua manutenção, habilidade e condição do motorista, etc.. Deve-se considerar também os possíveis efeitos danosos sobre a comunidade local, o que faz com que aumente a preocupação com o controle deste risco.

Os produtos químicos são indispensáveis ao desenvolvimento econômico e ao progresso de um país, pois o consumo dos mesmos é revertido em conforto e benefícios múltiplos. Como exemplos podemos citar:

O uso racional de defensivos agrícolas pode aumentar a produção e a produtividade, bem como melhorar a qualidade dos alimentos.

Muitos tumores malignos (câncer), estão sendo tratados com sucesso através da Quimioterapia e/ou da Radioterapia.

O AZT, outro produto químico, está sendo utilizado no combate a AIDS.

A soda cáustica, produto químico classificado como corrosivo, é matéria-prima para a fabricação de sabões e sabonetes, produtos que fazem parte do nosso cotidiano.

O ácido sulfúrico, outro produto químico também corrosivo, ao reagir com a bauxita, forma o sulfato de alumínio que é utilizado como coagulante nas estações de tratamento de água para abastecimento público.

O cloro gasoso ou seus sais sólidos são utilizados no tratamento de água, tanto para consumo como para lazer (no tratamento de água de piscinas). O cloro, sob forma líquida e diluído em água (água sanitária), é ainda utilizado diariamente em nossas casas, como agente de higiene e limpeza.

Certos compostos químicos nitrogenados conferem cor em determinados produtos.

Pelo acima exposto, podemos afirmar que os produtos químicos proporcionam-nos uma vida melhor, com maior conforto e saúde, razão pelas quais tornam-se indispensáveis à vida moderna.

Portanto, quando a sua produção, manipulação, transformação, utilização, disposição final e, principalmente, o transporte, é visto com naturalidade e quando realizado com profissionalismo, obtêm-se como resultado final um serviço de alta qualidade e segurança.

Porém, vemos em nossas estradas que o número de acidentes envolvendo veículos que transportam produtos perigosos, é bastante significativo.

Citando PIJAWKA, (1985) :

“O transporte de materiais perigosos é um problema nacional crescente. O número de acidentes em rodovias que envolvem produtos perigosos têm crescido continuamente, e os acidentes ferroviários com produtos perigosos continuam a crescer bem como os custos por acidente. Com relação a estas tendências, estudos recentes descobriram que as atividades de gerenciamento dirigidas para a redução da vulnerabilidade a acidentes com produtos perigosos são insuficientes. O gerenciamento efetivo para a redução de risco e a melhoria do nível de preparo para a minimização das conseqüências adversas de vazamentos de produtos perigosos está abaixo da expectativa no entendimento da magnitude e natureza do risco para as comunidades locais que residem próximo a rotas de transporte.

As técnicas de avaliação de risco no transporte de produtos perigosos surgiram recentemente como uma necessidade crítica e vários modelos e projetos aparecerem. A avaliação do risco no transporte de produtos perigosos pode ser conceituada como constituindo-se das seguintes atividades:

- (a) identificação do tipo e volume do produtos perigosos transportado;
- (b) a natureza do risco de um vazamento potencial para ao meio ambiente e para a população;
- (c) a estimativa das probabilidades de acidentes com produtos perigosos e vazamentos químicos, e
- (d) as conseqüências do vazamento .”

2.2. Tendências no Transporte de Produtos Perigosos

Os produtos perigosos - sua manufatura, utilização, proliferação, seu transporte, e descarga, e os riscos conseqüentes para a segurança pública - apresentam muitas oportunidades de planejamento e gerenciamento a nível estadual e nacional. Os assuntos relativos a produtos perigosos incluem definição, designação, ação de regulamentação no uso do material, fabricação, segurança no transporte, e descarga, atendimento de emergência aos acidentes, e o envolvimento da limpeza.

Há indicadores de materiais que classificam como “materiais perigosos”, “substâncias perigosas”, e “lixo perigoso” dependendo de seu destino e da natureza do material. Os produtos perigosos são definidos como sendo “aqueles [materiais] que em uma certa quantidade e forma, em condições de representar um risco excessivo para a saúde e a segurança ou propriedade quando transportados no comércio”. Explosivos, inflamáveis, materiais combustíveis, peróxidos orgânicos, corrosivos, gases, produtos tóxicos, substâncias radioativas, e agentes etiológicos (que causam doenças humanas) estão incluídos nesta definição. Nos Estados Unidos, as substâncias perigosas são definidas diferentemente pela Agência de Proteção Ambiental (EPA) sob duas leis distintas - a Lei de Água Limpa; e a lei de Responsabilidade, Compensação e Atendimento Ambiental Extensivo (Super fundo). A designação “perigoso” é baseada no risco para os condutos de água e ao meio ambiente em caso de vazamento. Hoje em dia, mais de 300 produtos químicos perigosos foram identificados pela EPA. Obviamente, há uma sobreposição considerável entre as duas classes de perigo: a maioria dos produtos químicos perigosos designados pela EPA já são regulamentados em trânsito como resultado do risco potencial relacionado com a poluição. Ainda, os lixos perigosos são designados pela EPA sob a autoridade da Lei de Reaproveitamento e Conservação de Recursos, e são regulamentados pela EPA a partir de sua origem até a descarga e tratamento - um projeto tipo berço-ao-túmulo.

Segundo os estudos de PIJAWKA, (1985), a situação dos produtos perigosos nos EUA é séria, conforme indica a seguinte estatística. Em 1980, mais de 55.000 substâncias tóxicas, cujas vendas alcançaram os \$146 bilhões, foram fabricadas e produzidas para uso comercial nos EUA. Pelo menos 250.000 embarques de produtos perigosos são feitos diariamente o que totaliza pelo menos 4 bilhões de toneladas por ano, e este volume deve dobrar em dez anos.

“Tendo em vista que o volume de produtos perigosos deverá aumentar, também deverá crescer a atenção sobre a violação das regulamentações de segurança. Por exemplo, aproximadamente 95 % dos transportadores de produtos perigosos nos Estados Unidos verificados em um estudo de 1978 do Comitê de Segurança dos Transportadores Motorizados deste país violaram as leis de horas de serviço e, em grupo, obtiveram “o pior registro para a frequência de acidente previsível ... 20 % de envolvimento a mais que o esperado”. Ainda, dos 621 acidentes mais graves com transportadores comerciais investigados pela FHWA entre 1973 e 1976, os que envolveram produtos perigosos somaram 24,9 % dos acidentes e 57,3 % dos danos materiais”. PIJAWKA, (1985)

“As conclusões a serem tiradas destas estatísticas são de que as substâncias perigosas estão sendo largamente utilizadas, o volume transportado aumentará, e os acidentes que envolvem produtos perigosos são caros. A tendência geral nacional sobre acidentes devido ao comércio mostra que o número total dos acidentes na comercialização em trânsito diminuiu desde 1978. A incidência de acidentes de trânsito em que se carregava produtos perigosos foi quase constante. Contudo, como um percentual sobre o total dos acidentes com veículos, estes estão aumentando. Mais especificamente, o percentual dos acidentes ferroviários com produtos perigosos com relação ao número total de acidentes ferroviários continuou a aumentar de 7,5 % em 1978 a 11 % em 1982. Os acidentes em rodovias envolvendo produtos perigosos com relação ao total de acidentes nas rodovias tem flutuado entre 5 e 6 %.” PIJAWKA, (1985)

“Os danos materiais por acidente para transportadores de materiais perigosos e não perigosos têm continuado a crescer também. Os danos por acidente para transportadores de produtos perigosos indicam a gravidade comparativa dos acidentes envolvendo produtos perigosos. Em 1982, o custo por acidente para transportadores de produtos perigosos mediou os \$24.000 e a média para acidentes com materiais não perigosos foi de aproximadamente \$13.000.” PIJAWKA, (1985)

2.3. Panorama das Rodovias Catarinenses.

A rede rodoviária principal do Estado está constituída por 2.555,8 km de rodovias federais, cuja manutenção e operação são executadas sob a jurisdição direta do Departamento Nacional de Estradas e Rodagem - DNER, e por outros 6.594,6 km de rodovias cuja operação e manutenção são encargos do Estado.

A essa rede principal, que somam 9.150,4 km, dos quais 5.205,7 km (56,90%) já estão pavimentados, soma-se uma extensão de 97.197,3 km de estradas municipais, o que totaliza uma rede de 106.347,7 km de estradas em operação.

Dos 217 municípios existentes no Estado, 179 (82%) têm suas sedes ligadas à rede principal por rodovias pavimentadas, e outras têm ligações já em pavimentação.

Quadro 2.1: Extensão da Rede Rodoviária em Santa Catarina, Segundo a Dependência Administrativa/94.

Rede Rodoviária	Planejada (km)	Em Implantação (km)	Não Pavimentadas (km)	Em Pavimentação (km)	Pavimentadas (Km)	Total (Km)
Federal	344,2	-	102,6	38,5	2.070,5	2.555,8
Estadual (*)	293,2	60,6	2.457,0	648,6	3.135,2	6.594,6
Municipal	43.902,8	-	52.977,0	-	317,5	97.197,3
Total	44.540,2	60,6	55.536,6	687,1	5.523,2	106.347,7

Fonte: Secretaria dos Transportes e Obras/SC

Nota: * Inclui Rodovias Estaduais Transitórias.

Outros 10 municípios têm sedes ligadas à rede pavimentada por acessos implantados (sem pavimentação), e apenas 18 (10%) têm ligações efetuadas por estradas em primeira abertura.

O sistema viário catarinense, constituído principalmente pelas rodovias estaduais, é uma malha que integra as diferentes regiões do Estado.

A principal rodovia é a BR-101, que atravessa todo o litoral do Estado e escoar grande parte da produção de Santa Catarina. Por sua reconhecida importância econômica, a BR-101, está recebendo melhorias e está em fase de execução um projeto de duplicação de seu trecho da Grande Florianópolis até a divisa com o Paraná.

A segunda rodovia em importância para a circulação de cargas e em volume médio de tráfego é a BR-116, que passa pelas cidades de Lages, Papanduva e Mafra, cortando o estado longitudinalmente do Rio Grande do Sul ao Paraná.

A terceira é a BR-470, que liga a região do Meio Oeste ao litoral catarinense. A BR-470 faz conexão com as BRs 282 e 283 e por ela circula grande parte da produção da agroindústria que é exportada pelo porto de Itajaí.

A BR-280 liga a cidade de Porto União, no Planalto Norte, com o Porto de São Francisco do Sul. Nessa estrada passa a produção da indústria moveleira de São Bento do Sul e a erva-mate produzida na região de Canoinhas, dois importantes produtos na pauta de exportações.

Também possui importância reconhecida para integração regional, a BR-153, que corta o Estado próximo a cidade de Concórdia.

2.4. - Panorama da Indústria Catarinense.

Embora ocupando apenas 1,12% do território brasileiro e com 3% da população do país, Santa Catarina tem grande participação no processo de desenvolvimento nacional com a forte contribuição do setor industrial.

A diversificação das atividades fabris (como mostra o Quadro 2.2), a distribuição das atividades produtivas por todo o território catarinense e o elemento

humano de qualidade conferem ao Estado um equilibrado modelo econômico, garantindo-lhe a 6ª posição no valor da transformação industrial e nas exportações. Em 1995 Santa Catarina exportou US\$ 2,6 bilhões, representando 5,7% das exportações brasileiras

2.5. Panorama da Ação Institucional de Auxílio Técnico Complementar ABIQUIM - Programa "Pró-Química".

O Programa "PRÓ-QUÍMICA" foi implantado pela ABIQUIM (Associação Brasileira das Indústrias Químicas e de Produtos Derivados), entrando em operação em maio/89, a fim de desenvolver auxílio técnico complementar nos casos de orientações e situações emergenciais envolvendo produtos químicos

Quadro 2.2: Panorama da Indústria Catarinense. Empresas por Gênero.

GÊNERO	EMPRESAS	%
Extração e Tratamento de Minerais	212	1.73
Ind. de Vestuário, Calçados e Artefatos de Tecidos	2098	17.15
Ind. Diversas	145	1.19
Ind. Editorial e Gráfica	273	2.23
Ind. de Bebidas	118	0.96
Ind. de Produtos Alimentares	1268	10.37
Ind. Têxtil	482	3.94
Ind. Química	149	1.22
Ind. de Papel e Papelão	115	0.94
Ind. de Couros, Peles e Produtos Similares	57	0.47
Ind. de Produtos de Matérias Plásticas	143	1.17
Ind. de Borracha	61	0.50
Ind. de Produtos de Minerais Não Metálicos	1222	9.99
Ind. Metalúrgica	941	7.69
Ind. Mecânica	487	3.98
Ind. de Material Elétrico e de Comunicação	116	0.95
Ind. de Madeira	2519	20.60
Ind. de Material de Transporte	166	1.36
Ind. de Mobiliário	1159	9.48
Ind. de Produtos Farmacêuticos e Veterinários	15	0.12
Ind. de Perfumarias, Sabões e Velas	30	0.25
Ind. de Fumo	32	0.26
Ind. de Construção	422	3.45
TOTAL	12230	100.00

Fonte: FIESC (1992).

Na Central é utilizado um terminal de computador, onde as informações são acessadas provenientes de fichas técnicas dos produtos, cedidas pela "Chemical Manufacturer Association - CMA", a Associação das Indústrias Químicas Norte Americana, traduzidas e adaptadas à realidade brasileira. Elas contém informações técnicas sucintas e as orientações básicas para conter acidentes com 2500 tipos diferentes de produtos com as seguintes características:

- a) Nome do produto;
- b) Número do guia;
- c) Classe de risco;
- d) Propriedades físico-químicas;
- e) Natureza do produto;
- f) O que fazer em caso de acidente;

- g) Derramamento/vazamento;
- h) Fogo;
- i) Explosão;
- j) Considerações gerais.

Além das informações emergenciais com transporte de carga, a "Pró-Química" atende a casos diversos de acidentes com produtos químicos, em qualquer situação de qualquer natureza. Há ainda linha para orientação em nível técnico que seria o Centro de Referências, onde consiste num banco de dados, desvinculado do eletrônico, compostos por fichas contendo relações de produtos, respectivos produtores, relação de normas brasileiras voltadas ao manuseio, transporte, armazenamento, embalagem e legislação referente ao transporte.

Com a mesma finalidade foi editado pela ABIQUIM (1994), o Manual de Emergências que fornece uma orientação nas fases iniciais de um acidente como maneira de se aproximar do local, tabelas de distância de isolamento/evacuação inicial para alguns produtos químicos, tabelas de identificação de risco e guias correspondentes para uso no local do acidente, bem como o Sistema de Classificação da ONU e outros conceitos básicos importantes.

Contém a listagem de produtos perigosos, cerca de 3 mil, divididos em 66 grupos (guias) e identificados pelo nome, conforme modelo da ONU, com os sinônimos adotados no Brasil. A listagem poderá ser consultada pelo número da ONU, ou o nome do produto.

Os guias apresentam sua numeração de 11 a 76, mostrando os riscos potenciais de fogo ou explosão, riscos à saúde e ação de emergência; orientando as primeiras medidas adotadas no local para os casos de fogo, derramamento/vazamento e primeiros socorros.

3. PROGRAMA ATUAÇÃO RESPONSÁVEL - RESPONSIBLE CARE

3.1. Qualidade no Transporte de Produtos Perigosos em Santa Catarina.

Ramos e Knebel (1994), mostram que em Santa Catarina está em andamento um programa através de uma pesquisa de campo, mediante a aplicação de um questionário padrão aos motoristas, que compreende o cadastramento do transporte de produtos perigosos em Santa Catarina. Desta maneira poderemos ter conhecimento do quanto e do que é transportado no estado em termos de produtos perigosos.

Atualmente, a pesquisa faz parte do "Programa Regional para Gestão de Emergências Ambientais", atividade sob a responsabilidade da UDESC, através do Núcleo de Treinamento para Prevenção de Emergências da Região Sul - CETREM/SUL.

Esta pesquisa já abrangeu cinco pontos estratégicos do Estado de Santa Catarina e envolveu a participação de entidades como: UFSC, UDESC, FATMA, Diretoria Estadual de Defesa Civil, Polícia Militar e Corpo de Bombeiros, Bombeiros Voluntários, Polícia Rodoviária Federal, Polícia Rodoviária Estadual, Conselho Estadual de Trânsito, FIESC/SENAI, Vigilância Sanitária, Prefeituras Municipais e Órgãos Municipais de Defesa Civil e Meio Ambiente, entre outros.

O fluxograma abaixo apresenta uma idéia geral da pesquisa integrada que ora se desenvolve.

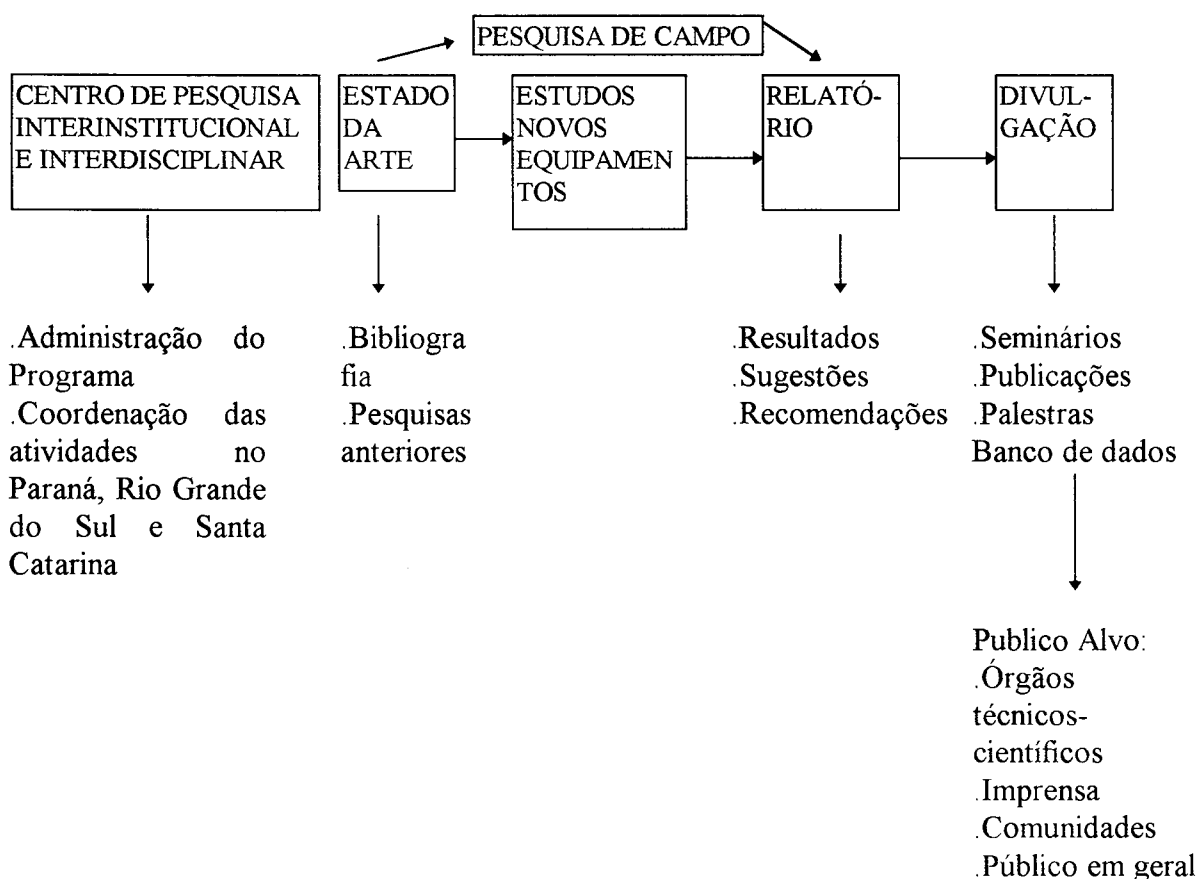


Figura 3.1 - Fluxograma Geral do Programa Responsible Care.

Quadro 3.1: Modelo do questionário aplicado:

PROGRAMA REGIONAL PARA GESTÃO DE EMERGÊNCIAS AMBIENTAIS DE PESQUISA DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS		
DADOS:		
TRANSPORTADORA :		
ORIGEM DA CARGA :		LOCAL:
DESTINO DA CARGA:		LOCAL:
-PRODUTO:		
NOME :	Nº ONU:	CLASSE:
QUANTIDADE:		
NOME :	Nº ONU:	CLASSE:
QUANTIDADE:		
-VEÍCULO:		
-CONDIÇÕES DO VEÍCULO: BOA () REGULAR () PÉSSIMA ()		
CONDIÇÕES DE TRANSPORTE DA CARGA:		
		ADEQUADO ()
		PARC. ADEQUADO ()
		INADEQUADO ()
SIMBOLOGIA: COMPLETA () PARC. COMPLETA () INEXISTENTE ()		
EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL/COLETIVA:		
		COMPLETA () PARC. COMPLETA () INEXISTENTE ()
-MOTORISTA		
APRESENTA CONHECIMENTO DA CARGA:	SIM ()	NÃO ()
SABE UTILIZAR EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO:	SIM ()	NÃO ()
PROCEDIMENTOS EM CASO DE ACIDENTES:	CORRETO ()	INCORRETO ()
ENVOLVIMENTO EM ACIDENTES:	SIM ()	NÃO ()
HABILITADO A DIRIGIR CARGA PERIGOSA:	SIM ()	NÃO ()
ÓRGÃO PROMOTOR DO CURSO:	CARGA HORÁRIA :	
LOCAL:	DATA: / /	HORA: /
ASSINATURA:		

Questionário padrão utilizado na pesquisa de campo

Fonte: CETREM/SUL

A matriz do programa está baseada no “Responsible Care” - Atuação Responsável, já adotado e implantado em múltiplos programas na iniciativa privada. Este programa visa treinar técnicos com conhecimentos sobre procedimentos elementares em

caso de acidentes com cargas perigosas e ainda fornecer informações técnicas para as autoridades locais com o objetivo de viabilizar ações de emergências. Com o banco de dados desenvolvido pela ABIQUIM, é possível obter rapidamente informações técnicas sobre o produto. O já referido questionário padrão aborda diversos campos de informações, tal como é mostrado no Quadro 3.1, num modelo do mesmo.

O acompanhamento de cada item observado permite identificar a evolução do desempenho, bem como estabelecer o perfil do transporte de produtos perigosos em cada ponto onde foi aplicado o questionário

Os resultados obtidos através dos questionários são, então, enviados ao CETREM/SUL, que, de posse dos mesmos, realiza uma triagem técnica, onde são analisados e catalogados conforme a classificação da ONU.

Por decisão do corpo técnico do CETREM, todos os produtos que não constam da listagem da ONU não participam dos resultados.

3.2. Metodologia para Coleta de Dados para a Aplicação da Pesquisa do CETREM/SUL.

Um projeto para a coleta de informações sobre o transporte de materiais perigosos em rodovias foi aplicado pelo CETREM/SUL em 1993.

Os dados de materiais perigosos foram coletados durante o período de 24 horas em cada posto para tráfego, em ambas as direções. Os dados indicam que a maioria dos horários de maior tráfego ocorreram entre as 6:00 da manhã e às 6:00 da tarde.

Durante a amostragem, todos os caminhões que passaram pelos postos (em qualquer direção) foram inspecionados. Cada inspeção incluiu a identificação do tipo de carga, peso e/ou quantidade total, tipo de *container*, número de *containers*, e origem e destino (estado). Para as cargas identificadas como perigosas (a partir de seus documentos de embarque), foram determinadas a classe de perigo, número da ONU/EUA. Ainda, por meio de uma inspeção física do caminhão, seu conteúdo e os documentos de embarque, verificação de credenciais, e questionamentos breves com os motoristas, determinaram-se as violações. Estas violações incluíram:

- Treinamento e qualificações do motorista,
- Sinalização,
- Documentação de embarque, e
- Condições do veículo e dos equipamentos.

Para completar a inspeção, o motorista respondia a um questionário que foi mostrado no Quadro 3.1.

A sinalização foi checada para se determinar se a carga indicada era a carga especificada nos documentos do embarque, ou se a carga deveria ter sido sinalizada ou não. Alguns caminhões, ainda que vazios, devem ser sinalizados. Estas observações foram tidas em conta quando detectadas.

A documentação de embarque foi inspecionada para a presença ou ausência de materiais perigosos e, como anteriormente observado, comparada com o Código de Regulamentação Federal para se determinar a sinalização apropriada. A origem e destino da carga foram também determinados por esta documentação.

As condições do veículo foram avaliadas do mesmo modo utilizado para qualquer veículo inspecionado em postos rodoviários ou postos de pesagem. Esta foi provavelmente a mais fácil das quatro atividades de inspeção a ser avaliada corretamente.

3.3 Situação do Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos no Estado de Santa Catarina

O Estado de Santa Catarina convive com uma situação singular, não sendo representado significativamente como um produtor, consumidor ou movimentador de produtos perigosos, se comparado com outros Estados da Federação.

Entretanto, sua situação geográfica entre os países do Cone Sul e demais estados da Região Sul e Sudeste do Brasil, sedes de importantes pólos petroquímicos, refinarias, plantas industriais e sítios de extração mineral, transforma suas rodovias longitudinais, notadamente a BR-101 e a BR-116, em locais de escoamento da produção, inclusive de produtos perigosos.

No trabalho desenvolvido pelo CETREM/SUL foi constatado que as transportadoras constituem um fator importante no resultado, pois elas apresentam grande preocupação com a segurança tanto da carga quanto de seus funcionários, visando com isso não só a diminuição de custos como também melhorar a qualidade de seus serviços.

3.4 Resultados da Aplicação do Programa Atuação Responsável - Responsible Care

3.4.1. Resultados Globais no Estado de Santa Catarina

Com o questionário aplicado em cinco pontos relevantes do Estado de Santa Catarina (BR-101 - PALHOÇA, BR-101 - JOINVILLE, BR-101 - ARARANGUÁ, BR-116 - LAGES e SC-474 - BLUMENAU), foi obtido um panorama representativo da situação do transporte de produtos perigosos em Santa Catarina. Com este trabalho procurou-se fornecer dados para as ações das equipes multi-institucionais nas atividades de gerenciamento e planejamento, bem como o treinamento e apoio logístico destas equipes, na área de emergência e prevenção que envolvam o transporte de produtos perigosos. Esses elementos (dados) foram:

- Frequência da Classe dos Produtos Perigosos Transportados no Estado de Santa Catarina
- Frequência dos Tipos de Produtos Perigosos Transportados no Estado de Santa Catarina.
- Condições Gerais dos Veículos em Santa Catarina.

- Condições de Transporte da Carga de Produtos Perigosos em Santa Catarina.
- Sinalização Adequada em Santa Catarina.
- Existência de Equipamento de Proteção Individual e Coletiva em Santa Catarina.
- Conhecimento da Carga Transportada em Santa Catarina.
- Treinamento do Motorista em Santa Catarina.

3.4.1.1. Frequência da Classe dos Produtos Perigosos Transportados no Estado de Santa Catarina.

Considerando a Figura 3.2, pode-se observar um alto índice de líquidos inflamáveis devido ao abastecimento dos postos combustíveis. A seguir vem os gases inflamáveis devido a sua distribuição e consumo no varejo, em particular o GLP (gás liquefeito do petróleo).

Logo a seguir, devido a diversificação de produtos químicos usados em múltiplas atividades da economia, aparecem os produtos corrosivos, os tóxicos, os sólidos inflamáveis, oxidantes (principalmente o oxigênio que é utilizado em hospitais) e os explosivos (que têm sua frequência elevada durante as festas juninas).

A classe de produtos radioativos não figura no transporte, pois apresenta frequência praticamente nula.

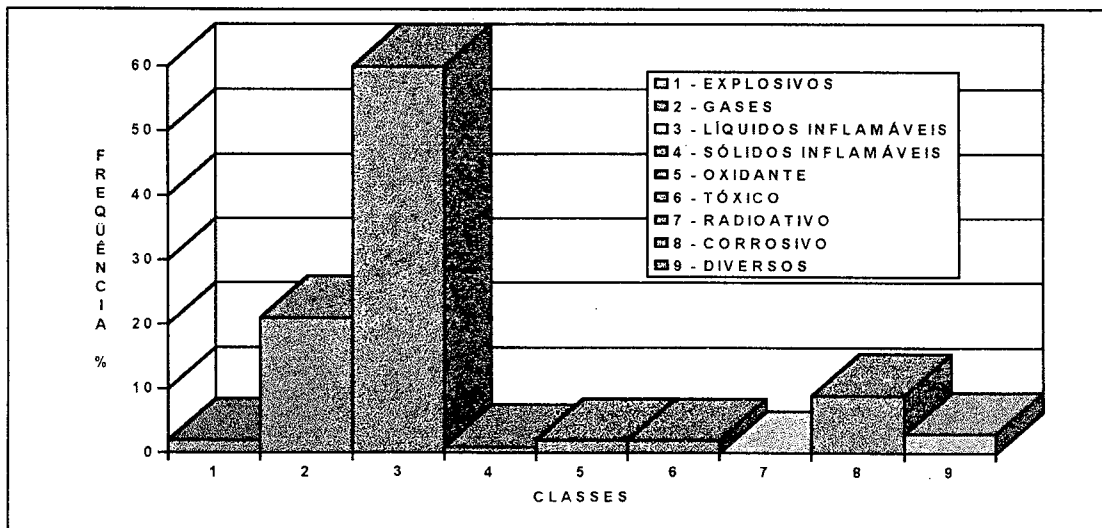


Figura 3.2 - Frequência das Classes de Produtos Perigosos em Santa Catarina
Fonte: CETREM/SUL(1993).

3.4.1.2. Frequência dos Tipos de Produtos Perigosos Transportados no Estado de Santa Catarina.

Como podemos observar na Figura 3.3, temos um elevado índice de etanol, seguido de gasolina, óleo diesel e óleo combustível, empregados principalmente em

veículos automotores. O GLP também ocupa lugar de destaque devido seu consumo em múltiplas atividades, tanto industriais como consumo doméstico.

Os produtos corrosivos como a soda cáustica e o ácido sulfúrico aparecem devido seu emprego nas indústrias de sabões, sabonete, xampu, papel e nas estações de tratamento de água para abastecimento público. O ácido sulfúrico reage com a bauxita formando o sulfato de alumínio, que é utilizado como coagulante.

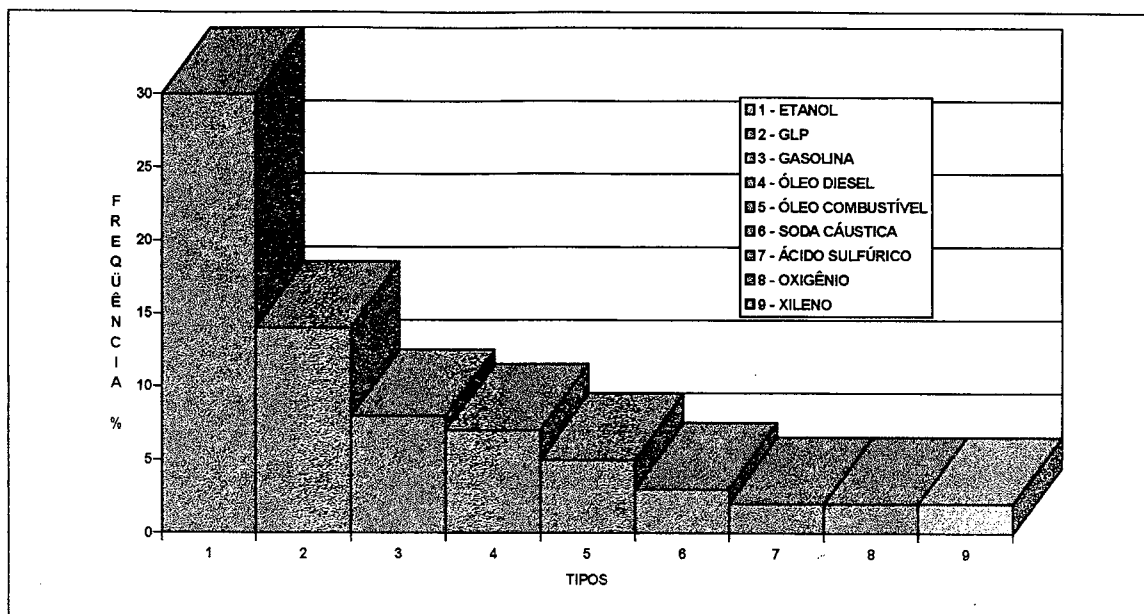


Figura 3.3 - Frequência dos Tipos de Produtos Perigosos em Santa Catarina
Fonte: CETREM/SUL(1993).

3.4.1.3. Condições Gerais dos Veículos em Santa Catarina.

Como mostra a Figura 3.4, tem-se observado que, devido a preocupação das grandes empresas transportadoras com a qualidade de seus serviços, essas mantêm seus veículos em bom estado de conservação, nas condições exigidas pela Regulamentação dos Transportes Rodoviários de Produtos Perigosos.

3.4.1.4. Condições de Transporte da Carga de Produtos Perigosos em Santa Catarina.

Ainda devido à preocupação das grandes empresas transportadoras com a qualidade de seus serviços, grande parcela das mesmas apresentam um bom condicionamento de suas cargas, sendo que quase não se observa o mesmo com os transportadores autônomos, que apresentam um acondicionamento inadequado de suas cargas (vide Figura 3.5).

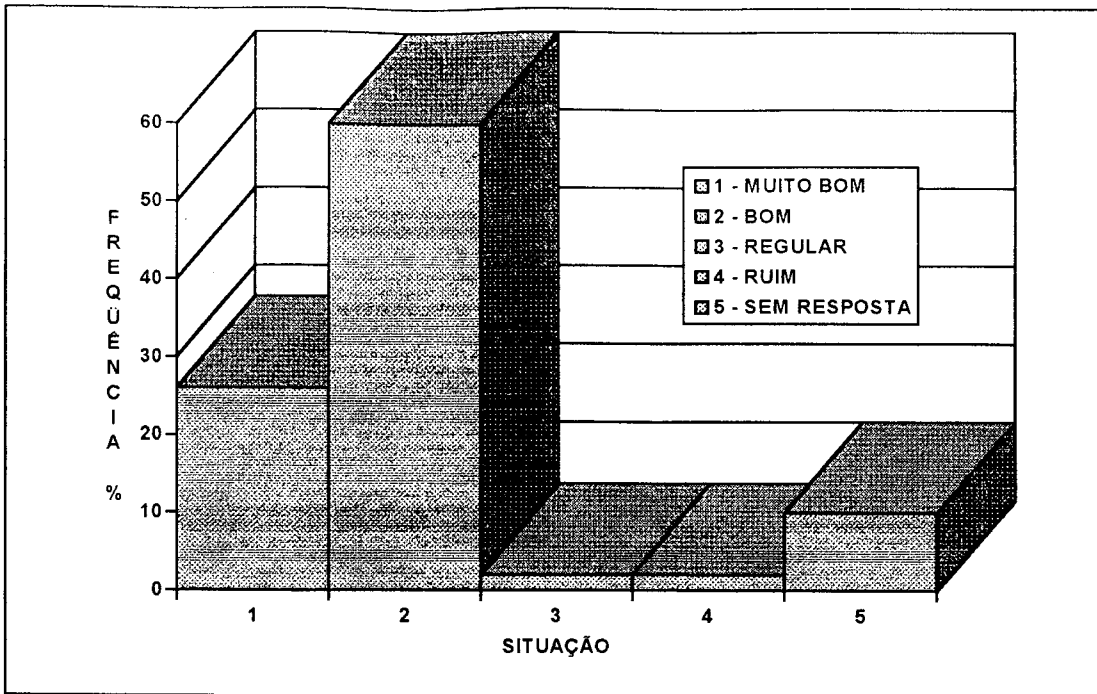


Figura 3.4 - Condições Gerais dos Veículo em Santa Catarina
 Fonte: CETREM/SUL(1993).

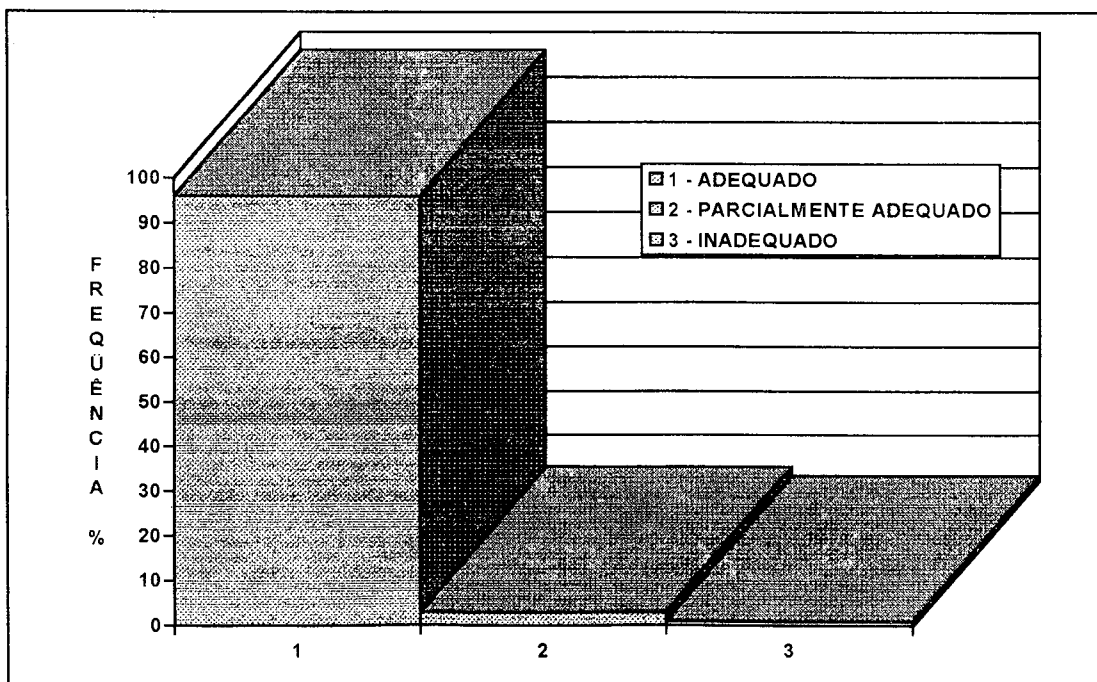


Figura 3.5 - Condições de Transporte da Carga de Produtos Perigosos em Santa Catarina
 Fonte: CETREM/SUL(1993).

3.4.1.5. Sinalização Adequada em Santa Catarina.

Um índice bastante elevado de veículos trafega com a devida sinalização do produto, facilitando a tomada de emergências quando do atendimento aos acidentes pelos órgãos técnicos responsáveis (vide Figura 3.6).

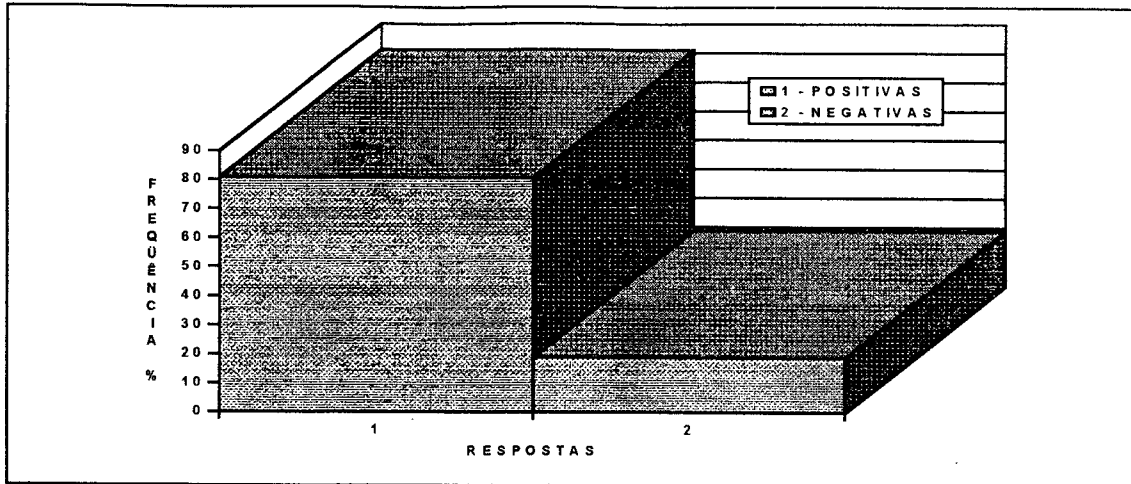


Figura 3.6 - Sinalização Adequada em Santa Catarina

Fonte: CETREM/SUL(1993).

3.4.1.6. Existência de Equipamento de Proteção Individual e Coletiva em Santa Catarina.

Verificou-se que a grande maioria dos motoristas leva consigo os equipamentos de proteção individual, coletiva e, de sinalização exigidos, este fato está diretamente ligado à qualidade do treinamento dado aos motoristas (vide Figura 3.7).

As empresas de pequeno porte são responsáveis pela diminuição no índice de motoristas que trafegam com os equipamentos de segurança, o que vem dificultar as ações de gerenciamento de riscos.

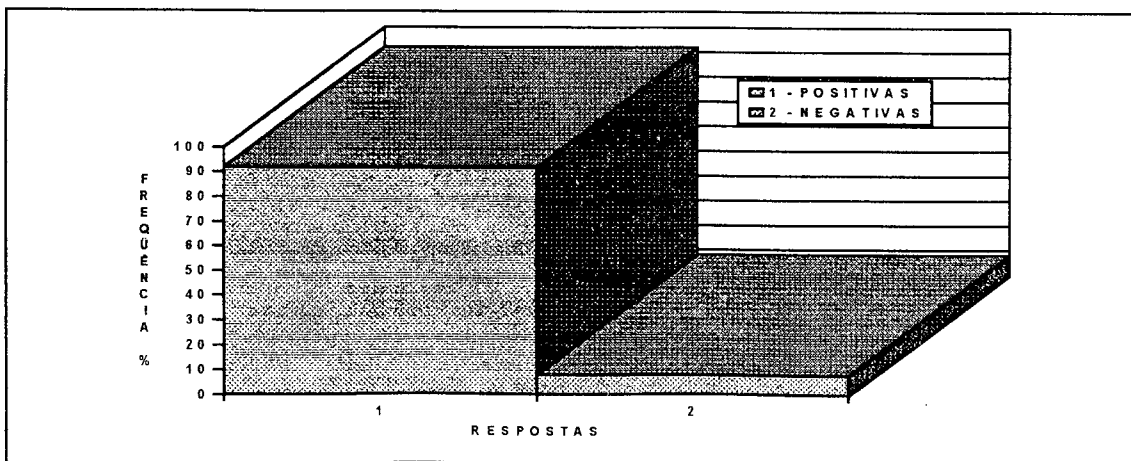


Figura 3.7 - Existência de Equipamento de Proteção Individual e Coletiva em Santa Catarina

Fonte: CETREM/SUL(1993).

3.4.1.7. Conhecimento da Carga Transportada em Santa Catarina.

Constata-se um alto índice de conhecimento da carga transportada devido ao bom nível técnico do corpo profissional responsável pelo embarque somado ao treinamento recebido (vide Figura 3.8).

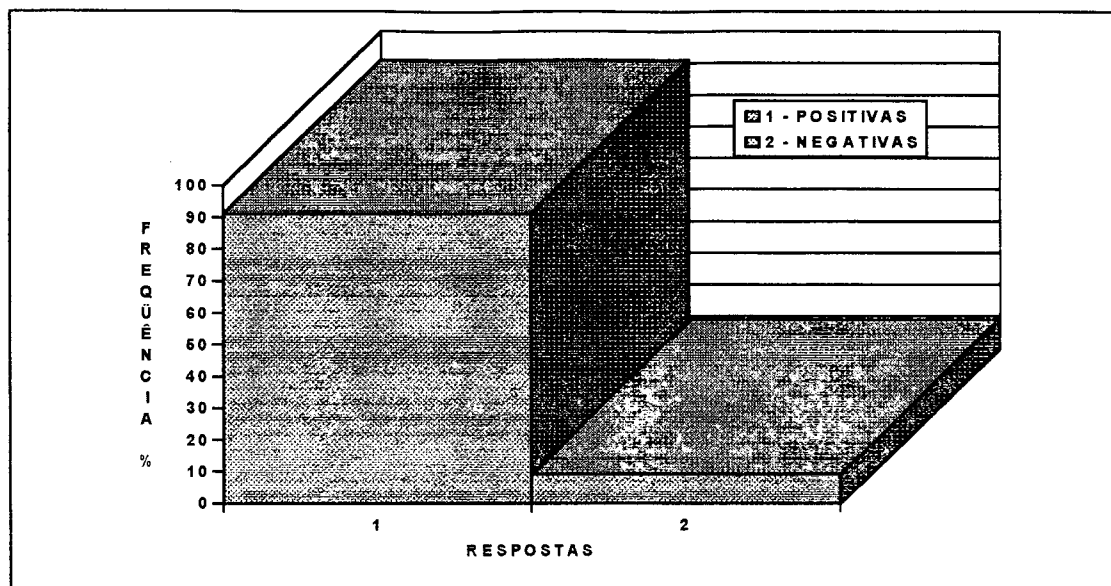


Figura 3.8 - Conhecimento da Carga Transportada em Santa Catarina
Fonte: CETREM/SUL(1993).

3.4.1.8. Treinamento do Motorista em Santa Catarina.

Constatou-se um número elevado de motoristas treinados, vide Figura 3.9, provavelmente por serem de empresas de grande porte, que são as que mais trafegam nos pontos considerados para a pesquisa. Isto leva a uma diminuição no índice de acidentes e de suas possíveis conseqüências à população e ao meio ambiente.

Até recentemente o treinamento era realizado pelo SENAI e pelas próprias empresas transportadoras, sendo que a qualidade dos cursos ministrados é de excelente nível, colaborando assim para o aprimoramento técnico dos motoristas. No momento o SENAT - Serviço Nacional de Transporte, vem se capacitando para assumir e dinamizar ainda mais esse treinamento.

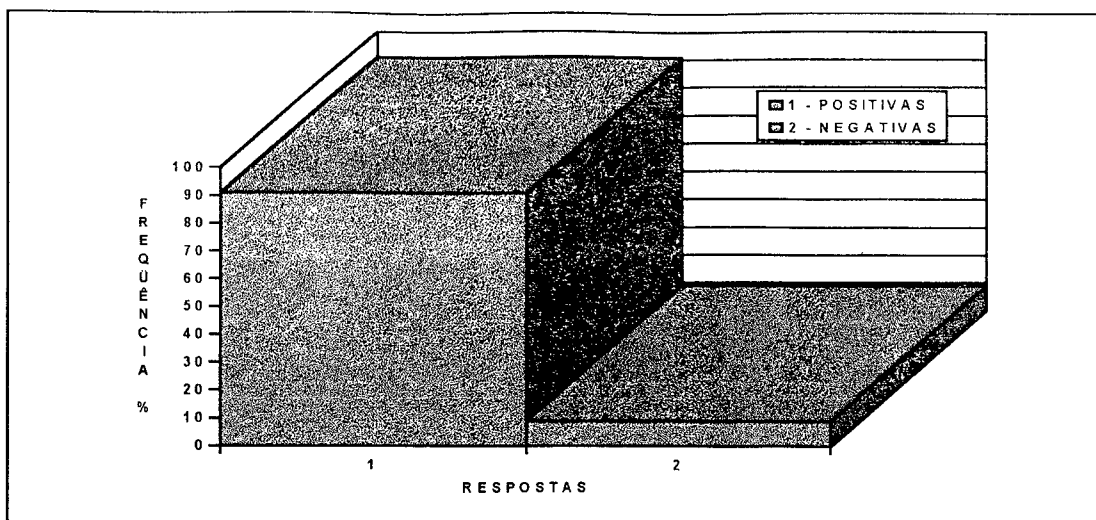


Figura 3.9 - Treinamento do Motorista em Santa Catarina
 Fonte: CETREM/SUL(1993).

3.4.2. Resultados Parciais de Classes e Tipos no Estado de Santa Catarina

Apresentaremos agora os dados obtidos em cada ponto da pesquisa referentes à frequência dos principais tipos de produtos e suas classes. Deixaremos de apresentar os demais campos pesquisados, sendo que estes estão à disposição no CETREM/SUL. Os pontos pesquisados foram: BR-101 - PALHOÇA, BR-101 - JOINVILLE, BR-101 - ARARANGUÁ, BR-116 - LAGES, SC-474 - BLUMENAU.

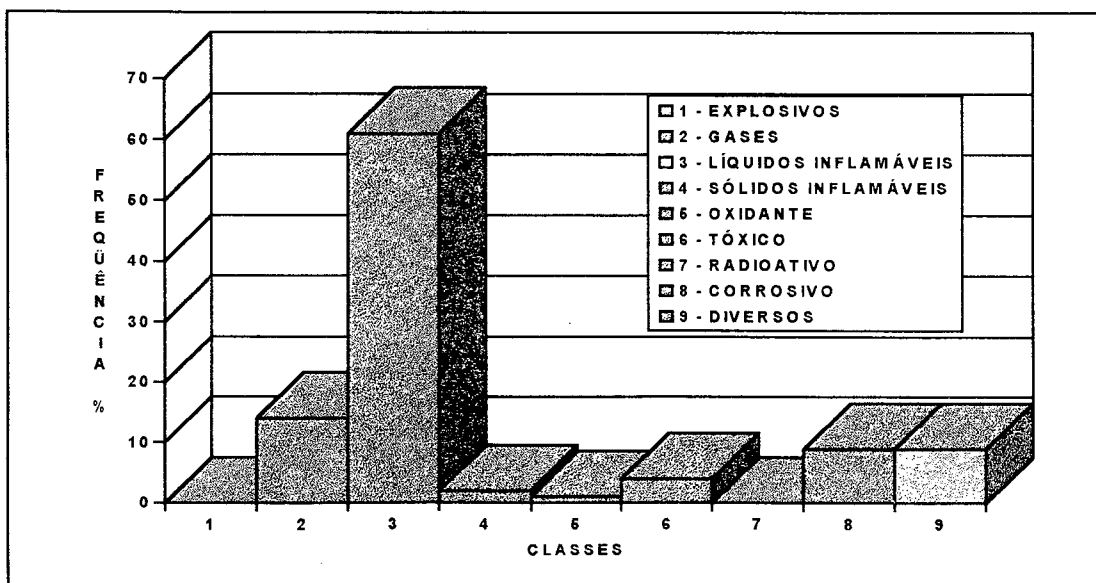


Figura 3.10 - Frequência das Classes de Produtos Perigosos no Trecho da BR-101/Palhoça
 Fonte: CETREM/SUL(1993).

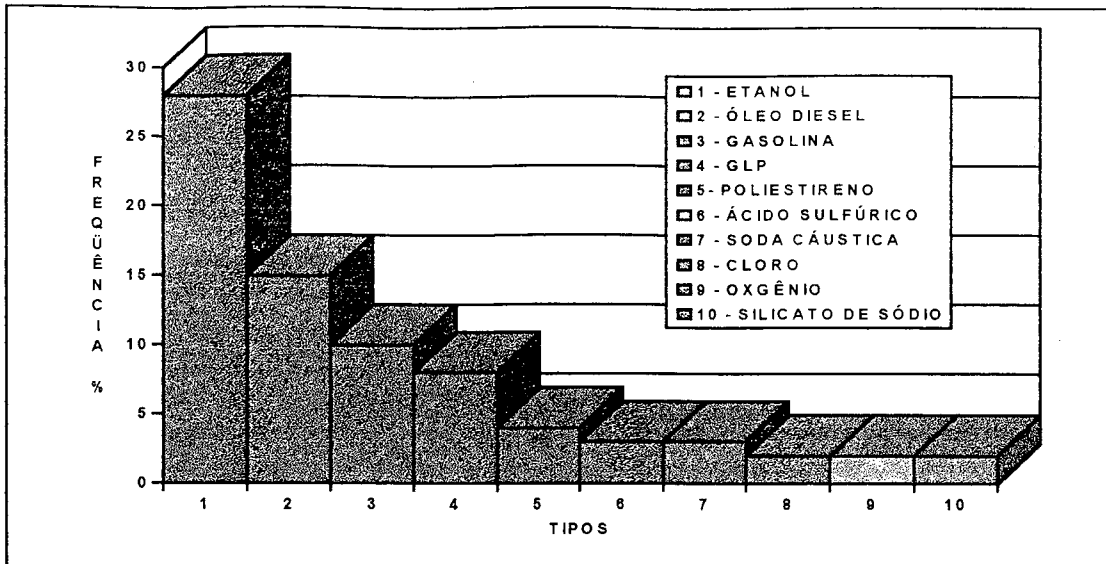


Figura 3.11 - Frequência dos Tipos de Produtos Perigosos no Trecho da BR-101/Palhoça
Fonte: CETREM/SUL(1993).

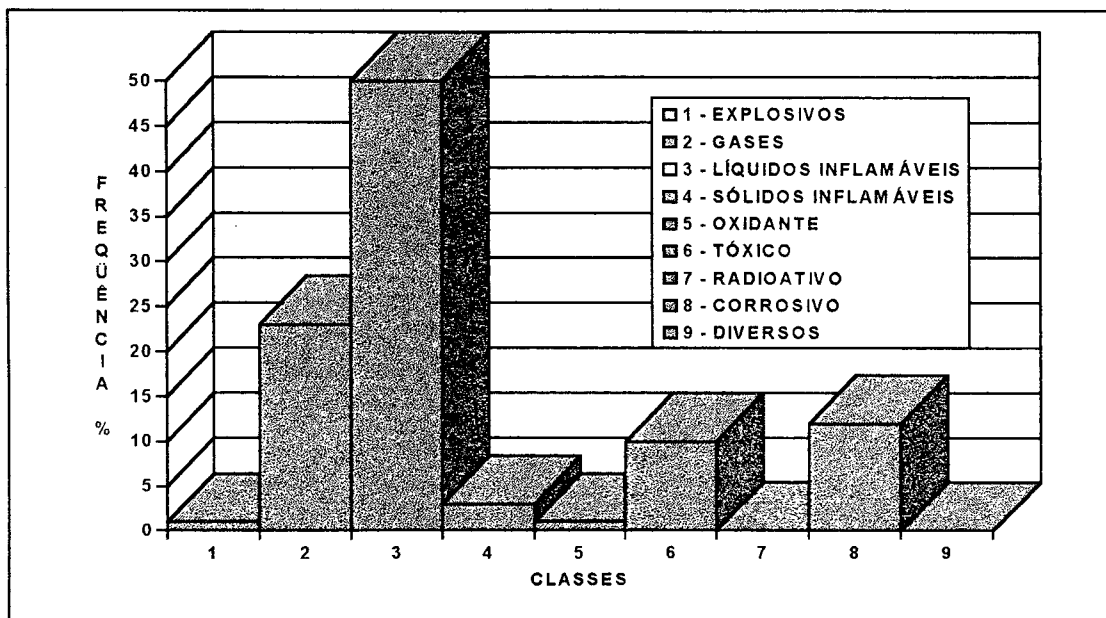


Figura 3.12 - Frequência das Classes de Produtos Perigosos no Trecho da BR-101/Joinville
Fonte: CETREM/SUL(1993).

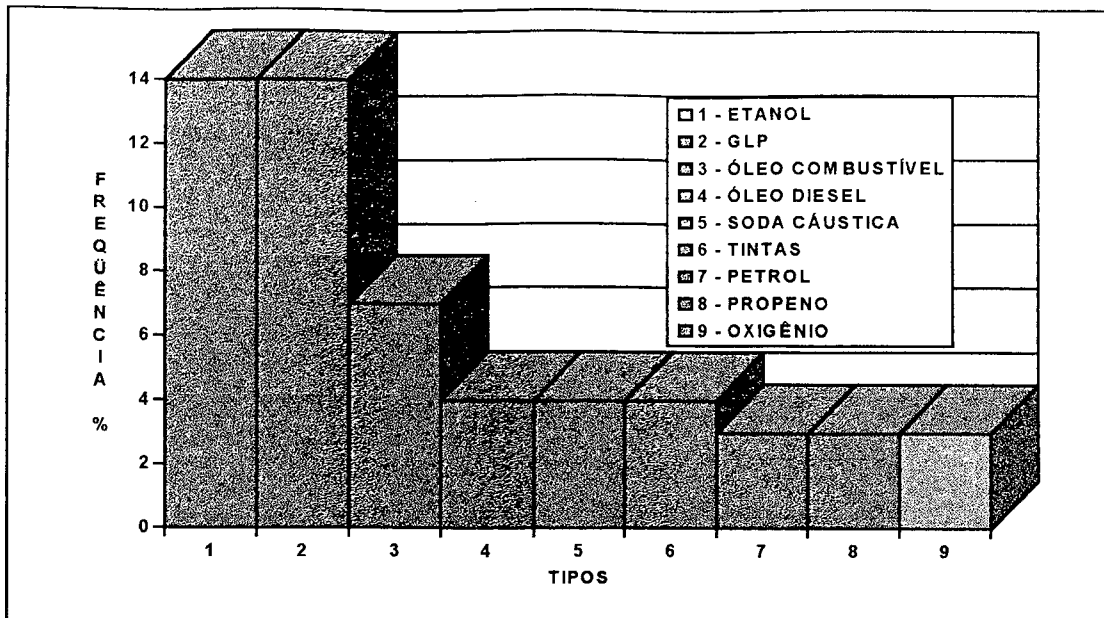


Figura 3.13 - Freqüência dos Tipos de Produtos Perigosos no Trecho da BR-101/Joinville

Fonte: CETREM/SUL(1993).

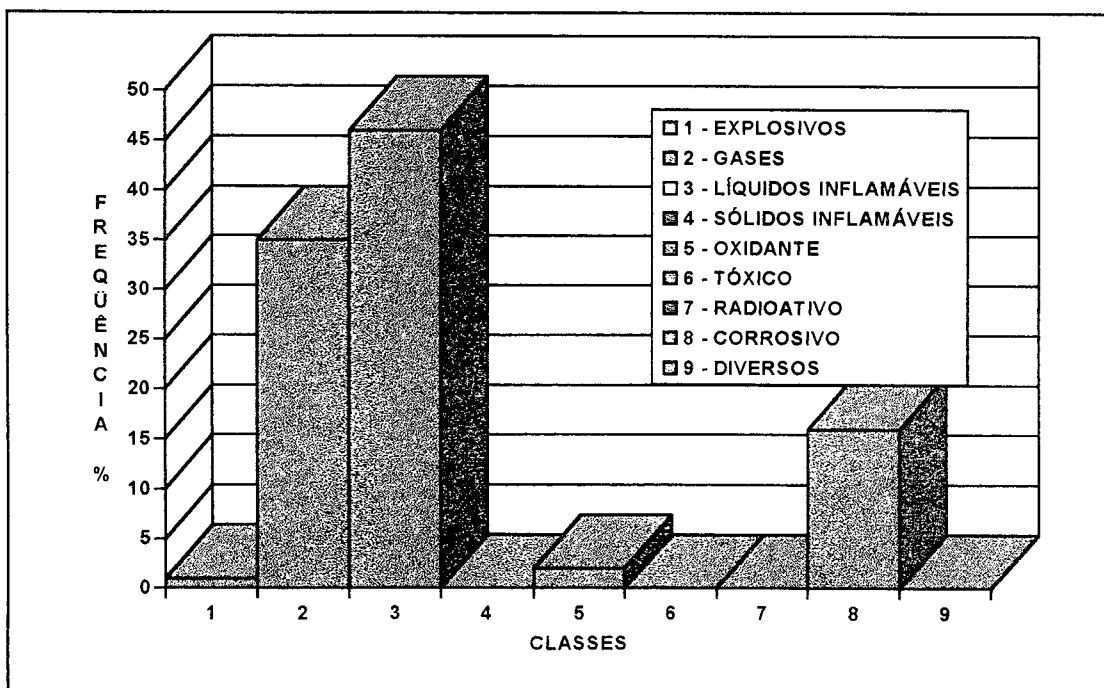


Figura 3.14 - Freqüência das Classes de Produtos Perigosos no Trecho da BR-101/Araranguá

Fonte: CETREM/SUL(1993).

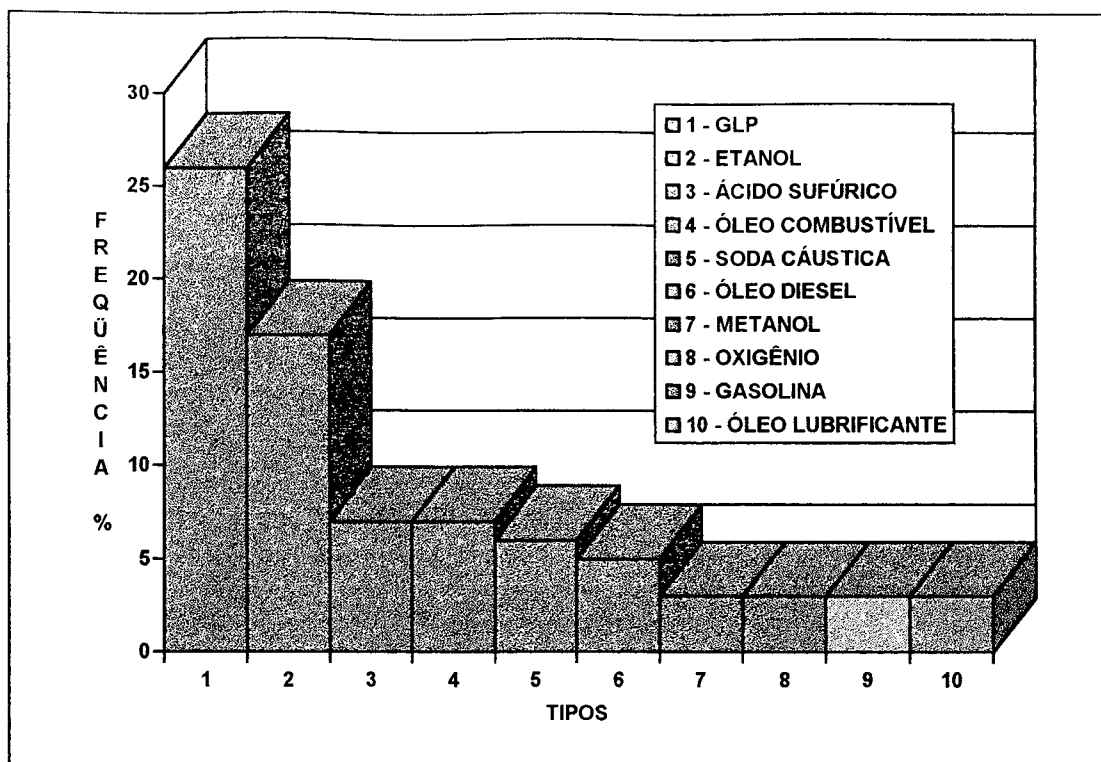


Figura 3.15 - Frequência das Classes de Produtos Perigosos no Trecho da BR-101/Araranguá
Fonte: CETREM/SUL(1993).

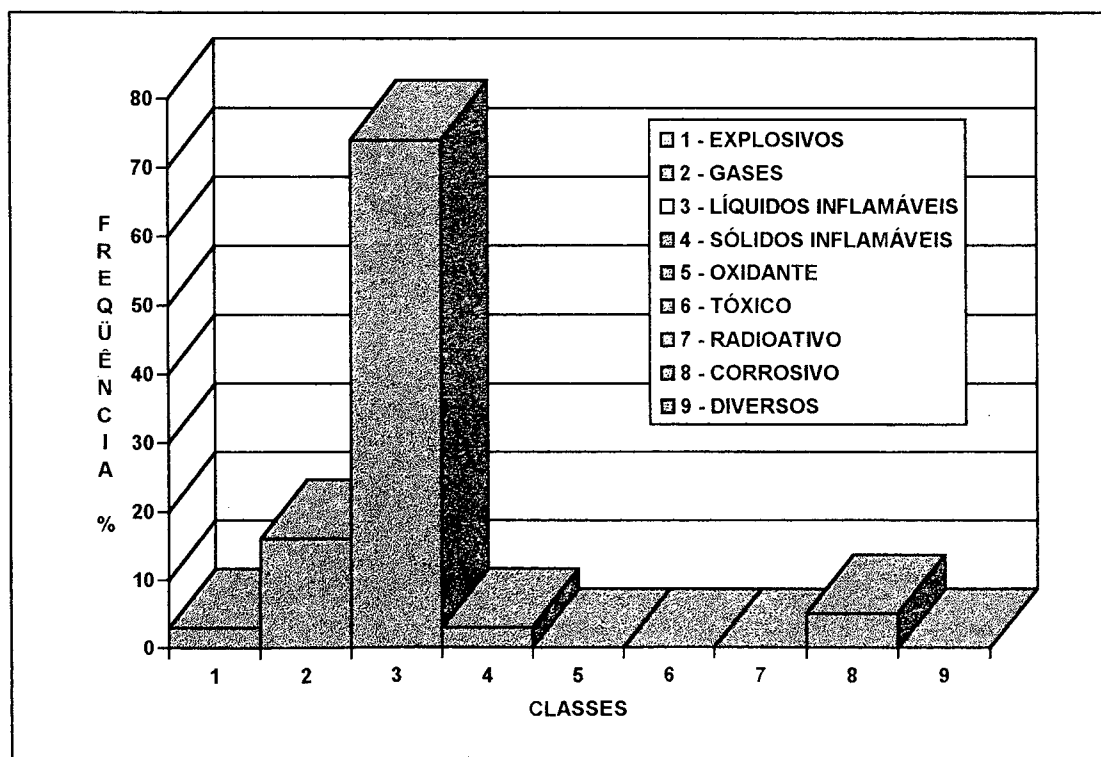


Figura 3.16 - Frequência das Classes de Produtos Perigosos no Trecho da BR-116/Lages
Fonte: CETREM/SUL(1993).

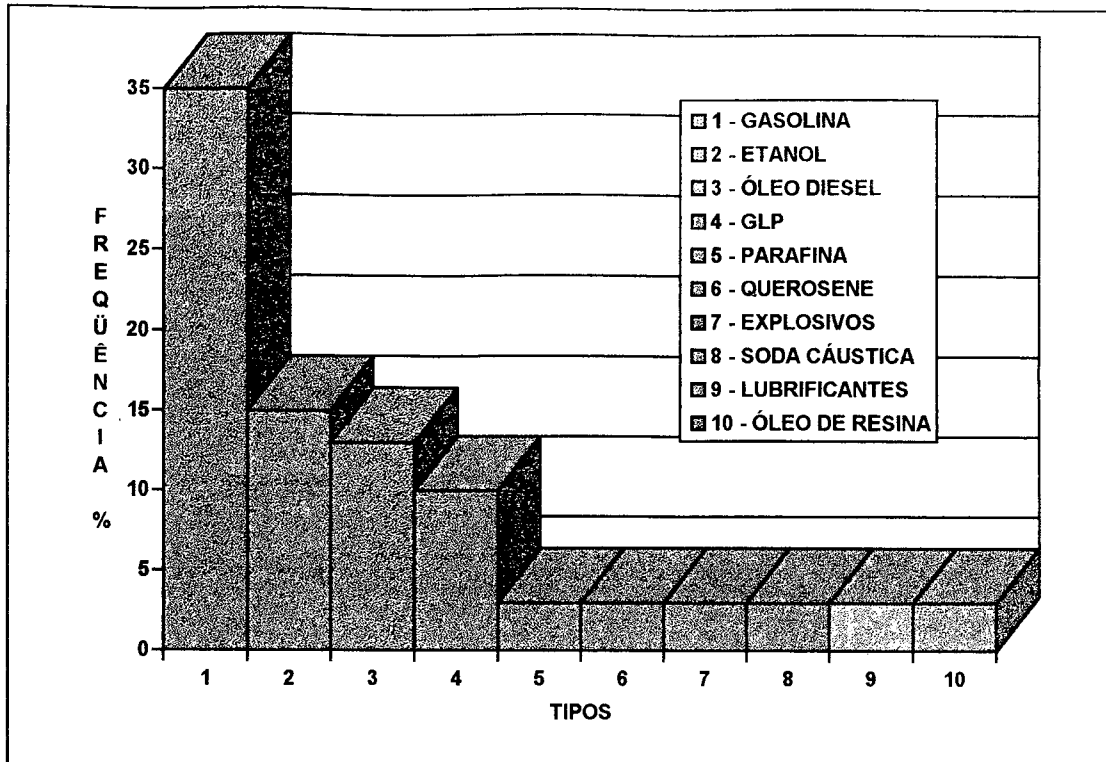


Figura 3.17 - Frequência dos Tipos de Produtos Perigosos no Trecho da BR-116/Lages
Fonte: CETREM/SUL(1993).

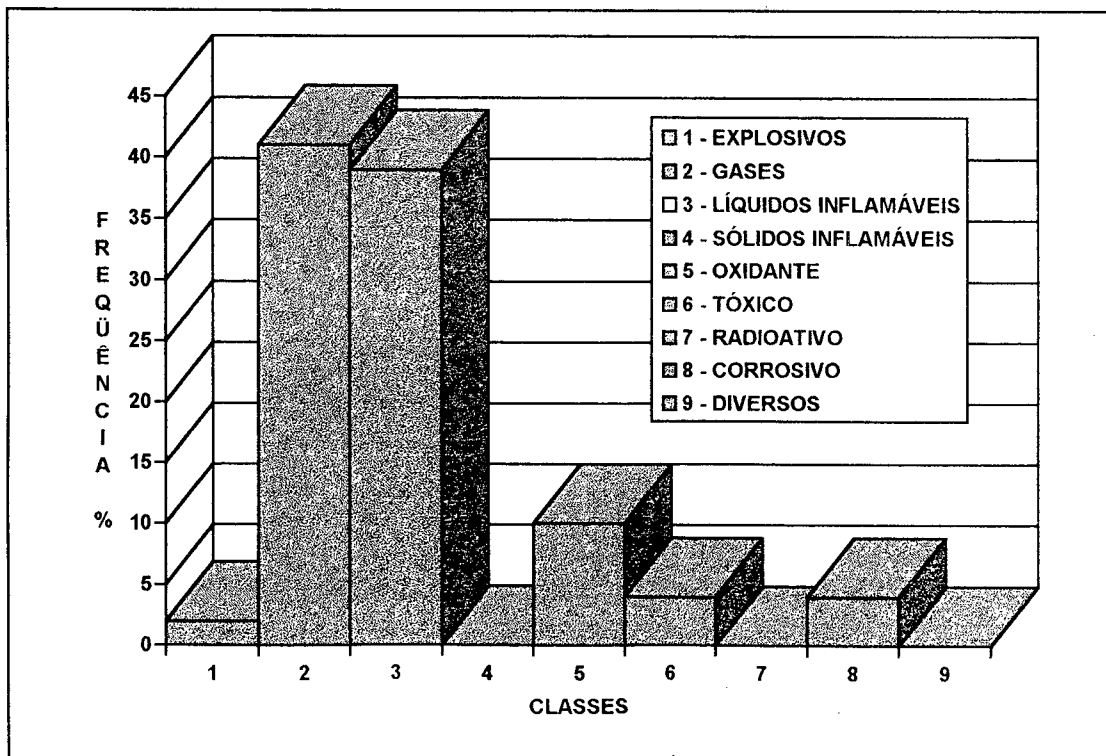


Figura 3.18 - Frequência das Classes de Produtos Perigosos no Trecho da SC-474/Blumenau
Fonte: CETREM/SUL(1993).

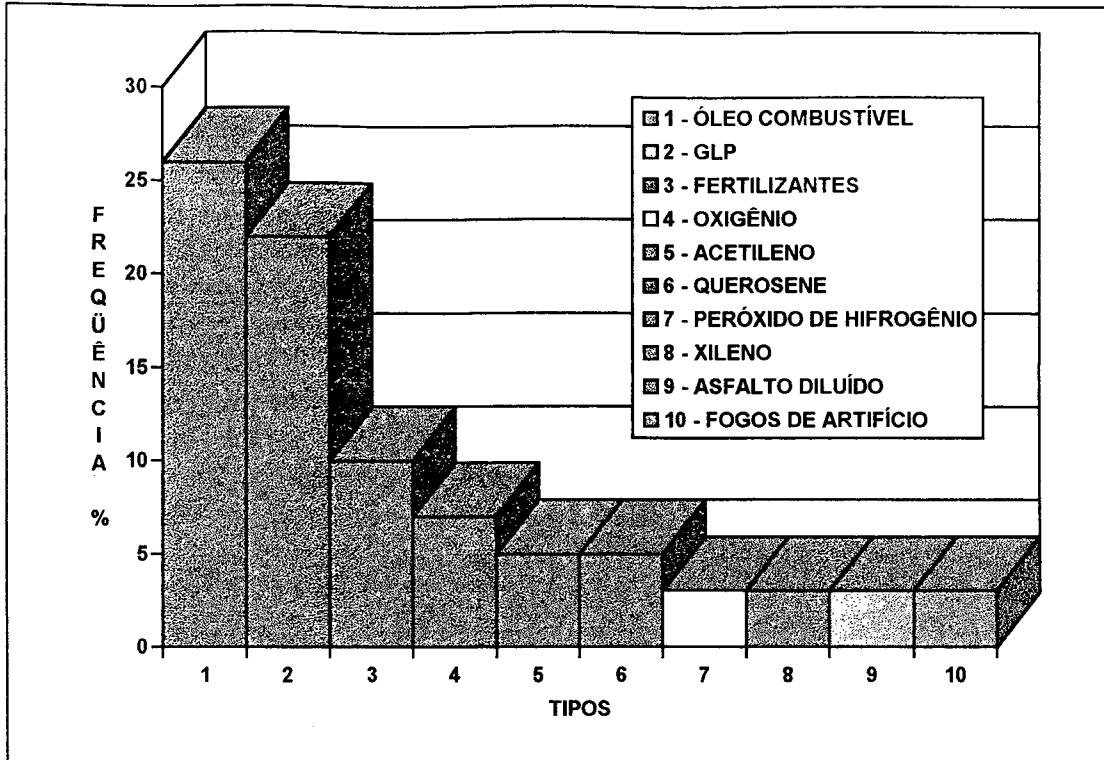


Figura 3.19 - Frequência dos Tipos de Produtos Perigosos no Trecho da SC-474/Blumenau
Fonte: CETREM/SUL(1993).

4. CARACTERÍSTICAS DE ACIDENTES.

4.1. Acidentes e Dados Estatísticos.

Dados envolvendo os acidentes com carga e descarga, apesar de serem parte do risco geral no transporte de materiais perigosos, não são parte do problema de segurança enfrentado na administração do sistema de rodovias e, também, não são relevantes às análises de rotas alternativas para os embarques de materiais perigosos. Portanto nosso trabalho centraliza-se nos acidentes que ocorrem durante o transporte real em rodovias públicas.

Sabemos que o transporte por rodovias é a parte predominante no problema da segurança no transporte de materiais perigosos, contando com mais de 85% dos vazamentos de materiais perigosos, como é registrado pelas agências federais norte-americanas.

Douglas (1989) mostra que:

- A probabilidade de um vazamento de materiais perigosos, dado um acidente envolvendo um caminhão transportando materiais perigosos é de 13% a 15%.
- As análises mostram que a probabilidade do vazamento de materiais perigosos, dado um acidente, depende fortemente do tipo de acidente e de outras variáveis relacionadas com o acidente.
- As análises também mostram o papel preponderante dos acidentes de trânsito como causa de graves acidentes com materiais perigosos. Entre 35% e 68% dos acidentes graves com materiais perigosos são causados por acidentes de trânsito, dependendo da definição escolhida para um acidente grave.

Os bancos de dados sobre os acidentes existentes fornecem uma perspectiva dentro da natureza dos riscos de segurança envolvidos com o transporte de materiais perigosos em rodovias.

No nosso estado esses dados são fornecidos principalmente pela Polícia Rodoviária Federal, DNER, DER e CETREM/SUL. Estes dados documentam a frequência de acidentes que ocorrem no transporte de materiais perigosos por caminhões em rodovias públicas, como também mostram o tipo e a classe de material perigoso transportado em Santa Catarina.

Os dados são:

- Frequência por classe de material perigoso,
- Frequência por tipo de material perigoso,
- Condições do Transporte,
- Condições do veículo que transporta material perigoso,
- Preparo do motorista
- Sinalização.
- Frequência por tipo de veículo envolvido,
- Causas prováveis,

- Horário das ocorrências dos acidentes,
- Extensão da rodovia,
- Frequência de acidentes por rodovia,
- Frequência de feridos e mortos,
- População envolvida na área de risco,

Com os dados citados acima, podemos então, visualizar as condições do transporte de produtos perigosos no nosso estado. Podemos, também, perceber de um modo geral, através da frequência de acidentes, em nossas rodovias, a condição de segurança e conservação de nossas estradas.

Convém ressaltar que os dados sobre acidentes fornecidos pela Polícia Rodoviária Federal e Estadual refletem apenas dados quantitativos e não qualitativos, pois dificilmente podemos obter maiores informações sobre acidentes com carga perigosa. Um exemplo disso é quando temos um acidente com carga perigosa, apesar de termos um boletim de ocorrência do acidente, dificilmente obtemos maiores informações sobre o produto transportado, qual o grau de dano causado pelo produto, qual a extensão do vazamento da carga (se houve ou não), etc. Através desse boletim sabemos somente dados como: hora do acidente, dano nos veículos envolvidos, se é ou não carga perigosa, número de mortos e feridos, causa provável do acidente, etc..

4.2. Acidentes e Exposição

A análise dos bancos de dados existentes relacionados com o transporte de materiais perigosos exige uma distinção clara e cautelosa entre os bancos de dados de acidentes e a exposição dos veículos ao risco.

A exposição é uma medida das oportunidades de ocorrer acidentes ou incidentes, tais como o número de embarques de materiais perigosos, toneladas de materiais perigosos embarcados, ou seja, veículos por quilômetro e embarques com materiais perigosos.

As medidas de risco, tais como as taxas de acidentes ou incidentes por milhão de veículo quilômetro, podem ser expressas como a taxa da frequência dos acidentes ou incidentes à exposição:

$$R = A/E$$

onde

R = uma medida de risco (p.ex., taxa de acidente),

A = uma medida de frequência (p.ex., número de acidentes), e

E = uma medida de exposição (p.ex., veículo por quilômetro de viagem).

Os bancos de dados de acidentes contém registros de acidentes de trânsito obtidos de registros policiais, registros de motoristas ou transportadores, ou investigações independentes. Cada registro em um banco de dados de acidentes documenta as características de um acidente em particular ou de um veículo em

particular envolvido em um acidente. Os bancos de dados de acidentes de interesse na análise de segurança de materiais perigosos são os que contém dados sobre os acidentes com caminhões onde se pode efetuar determinações tais como se o caminhão (ou os caminhões) envolvido em um acidente estava carregando materiais perigosos. É também desejável ser capaz de determinar se um vazamento de materiais perigosos ocorreu em um tipo de acidente em particular.

Os bancos de dados de acidentes contém registros de ocorrências onde um material perigoso foi liberado acidentalmente. Os acidentes de maior interesse são os vazamentos de materiais perigosos durante o transporte em rodovias. Vários tipos de acidentes devem ser considerados incluindo vazamentos resultantes de:

- (a) acidentes de trânsito,
- (b) falhas em válvulas ou no *container*, e
- (c) incêndios ou explosões.

De um modo geral vemos que em alguns acidentes os ferimentos associados com o transporte em rodovias de materiais perigosos é maior quando ocorre um acidente de trânsito, mas não necessariamente quando ocorre vazamento.

Os dados sobre acidentes são úteis devido ao que eles indicam a frequência com que os eventos em particular ocorrem. Contudo, a avaliação do risco de acidente exige dados de exposição *correspondentes*. Para ser útil no estabelecimento de políticas de transporte de materiais perigosos, as medidas de risco devem ser bem específicas. Por exemplo, uma taxa de acidente para um tipo específico de caminhão viajando em um tipo particular de rodovia pode ser obtida apenas se ambos, o acidente e a população exposta, forem devidamente estratificados.

Uma das maiores fraquezas da pesquisa de segurança em materiais perigosos e da pesquisa de segurança de caminhões, em geral, é que os dados de exposição válidos correspondentes a um conjunto particular de dados estão raramente disponíveis. Por esta razão trabalha-se com o que se pode obter dos dados tanto diretamente ou pela sua interpretação e relação em bancos afins.

4.3 Acidentes com Materiais Perigosos

Um acidente em auto-estrada relacionado com materiais perigosos é o vazamento acidental de um material perigoso durante, ou em conexão com, seu transporte em rodovias.

Muito dos acidentes com materiais perigosos são causados por falhas no corpo ou tanque do caminhão, falhas em válvulas ou juntas, e deslocamento da carga.

Segundo o estudo efetuado por Douglas (1989) descobriu-se que os acidentes de trânsito são aproximadamente 11% de todos os acidentes com materiais perigosos.

Os acidentes graves são de grande preocupação na administração da segurança do transporte de materiais perigosos. Contudo, não há uma definição aceitável do que

constitui um acidente grave. No caso norte-americano, ainda que os acidentes de trânsito sejam apenas 11% de todos os acidentes registrados, estes contam com 35% a 68% dos acidentes graves, dependendo da definição selecionada para acidentes graves. Nos 35 acidentes em que ocorreu uma fatalidade como resultado de vazamento, mais de 90% (32 acidentes) foram causados por acidentes de trânsito.

A falha em válvulas ou juntas lidera o segundo tipo de falhas nestas várias definições para acidentes graves. As falhas em válvulas ou juntas, que constituem 24% de todos os acidentes, foram atribuídas aos 29% dos acidentes que resultaram em mortes ou ferimentos e percentuais menores das outras definições de nível de gravidade. Nenhum outro tipo de falha contou com mais de 14% dos acidentes graves para nenhum dos níveis de gravidade examinados. Consequentemente, a parte da definição selecionada para um acidente grave, os acidentes de trânsito somam uma parte mais importante do problema de segurança dos materiais perigosos em rodovias do que é sugerido pelas estatísticas gerais de vazamentos.

Outras definições podem ser propostas tais como: os acidentes graves podem ser definidos como sendo os que envolvem:

- (a) uma fatalidade ou ferimento causado pelo vazamento de materiais perigosos, ou
- (b) danos materiais de \$50.000 ou mais causados pelo vazamento de materiais perigosos, ou
- (c) incêndio ou explosão.

As causas gerais do vazamento de materiais perigosos são atribuíveis a erro humano e à falha no acondicionamento. O RSPA (U.S. Department Transportation Research and Special Programs Administration) indica que, em geral, o erro humano é responsável por mais de 60% dos vazamentos de materiais perigosos. Deve-se observar que a literatura sugere que o erro do motorista é uma causa significativa dos acidentes de trânsito; consequentemente, neste sentido, o erro humano é por fim responsável por uma grande parcela dos acidentes de trânsito. Contudo, nos acidentes graves não causados por acidentes de trânsito, a falha no acondicionamento é realmente a causa mais comum que o erro humano.

4.4. Acidentes de Trânsito

4.4.1. Acidentes de Trânsito com Carga Perigosa

Como podemos constatar os acidentes com carga perigosas são bem menos frequentes que qualquer acidente ocorrido envolvendo outro tipo de veículo. Abaixo é mostrado essa relação para os anos de 1993, 1994, 1995 e até o mês de junho de 1996, segundo os arquivos da Polícia Federal para o Estado de Santa Catarina:

Quadro 4.1- Acidentes com veículos transportando carga perigosa nas rodovias federais de Santa Catarina, segundo a Polícia Rodoviária Federal:

ANO	Acidentes com Carga Perigosa	Percentual	TOTAL
1993	33	0,53	6172
1994	37	0,52	7117
1995	20	0,23	8853
1996	12	2,65	453
TOTAL	102	0,45	22595

Fonte: Polícia Rodoviária Federal/SC

4.4.2. Frequências de Acidentes Anuais

Dos arquivos da Polícia Federal, temos para o ano de 1995, a relação de acidentes, constando mortos e feridos devido a acidentes de trânsito ocorridos nas rodovias federais de Santa Catarina, envolvendo todos os tipos de veículos e também incluindo atropelamentos:

Quadro 4.2. - Relação de acidentes, mortos e feridos nas rodovias federais de Santa Catarina para o ano de 1995:

RODOVIAS	EXTENSÃO	V.M.D.*	ACIDENTES		FERIDOS		MORTOS	
			Casos	%	Casos	%	Casos	%
BR-101	465	14437	4778	53,98	3026	51,15	426	60,00
BR-116	311	2935	578	6,53	411	6,95	57	8,03
BR-153	118	1981	206	2,33	133	2,25	20	2,82
BR-158	148	1008	56	0,63	43	0,73	9	1,27
BR-280	211	2708	657	7,42	440	7,44	50	7,04
BR-282	653	2284	973	10,99	669	11,31	61	8,59
BR-470	352	4744	1605	18,13	1194	20,18	87	12,25
TOTAL	2212		8853	100,00	5916	100,00	710	100,00

Fonte: Polícia Rodoviária Federal/SC

*Dados de V.M.D. (volume-médio-diário) levantados em 01/06/93.

4.4.3. Tipo de Acidente

As colisões envolvendo vários veículos são o tipo líder de acidentes, tanto para veículos transportando ou não materiais perigosos. Contudo, os principais tipos de acidentes que resultam em vazamentos de materiais perigosos são acidentes com capotagem de um único veículo.

Os acidentes envolvendo caminhões carregando materiais perigosos são mais prováveis em resultar em capotagem que os acidentes com outros caminhões

Em contraste, as colisões envolvendo um único veículo com carros estacionados, ou não, envolvendo motoristas (ou seja, pedestres, ciclistas, e animais) e as colisões com vários veículos (incluindo colisões carros-caminhões e caminhões-caminhões) são menos prováveis que a média em provocar um vazamento

As principais preocupações especiais em acidentes envolvendo caminhões transportando materiais perigosos são as consequências reais e potenciais dos vazamentos de materiais perigosos.

4.4.4. Tipo de Carga Envolvida

Há uma diferença bem distinta na distribuição dos tipos de cargas para caminhões carregando materiais perigosos e caminhões em geral. A predominância de caminhões tanque transportando líquidos em volumes representa uma maior diferença na exposição entre o transporte de materiais perigosos e outras formas de transporte.

Os cargueiros de líquidos, pela natureza da carga, são um pouco mais prováveis que a média em liberar sua mercadoria em um acidente de trânsito; por outro lado, os caminhões transportando gases, explosivos, e materiais perigosos em geral são menos prováveis que a média em liberar sua carga em um acidente de trânsito.

4.4.5. Consequências dos Acidentes

Geralmente os acidentes envolvendo veículos transportando materiais perigosos tendem a implicar em maiores consequências que os acidentes com caminhões em geral. Os acidentes em que ocorre um vazamento de materiais perigosos implica em mais mortes, mais ferimentos, e mais danos materiais que os acidentes em que não há vazamento. Estes danos ocorrem em parte devido às próprias consequências do vazamento, mas também indicam que o acidente envolveu maiores velocidades ou maiores forças de colisão que os outros acidentes.

5. ESTIMATIVA DE RISCOS PARA O FLUXO DE MATERIAIS PERIGOSOS

Vários fatores afetam os riscos criados por materiais perigosos em trânsito, incluindo a probabilidade de acidente envolvendo um carregamento de materiais perigosos, a probabilidade de vazamento em um acidente, e o nível de exposição. A exposição é definida como a frequência de carregamentos de materiais perigosos por período de tempo. Líquidos inflamáveis e corrosivos são os tipos de carregamentos mais frequentes.

Risco, diferentemente de perigo, pode ser visualizado como sendo a probabilidade de que um material em particular em um dado contexto levará a uma consequência específica de perigo para a vida ou propriedade durante um dado período de tempo.

Ultimamente, o interesse está nos custos e benefícios sociais associados com materiais perigosos e seu transporte. Ainda que a sociedade tenha visualizado os benefícios como comandando os custos, sugerem que há o desejo de aumentar a relação benefício-custo (b/c) por meio do controle mais cuidadoso dos materiais perigosos. Contudo, tais interpretações estão amplamente baseadas em observações qualitativas. O ideal seria ser capaz de, pelo menos, quantificar os custos sociais de materiais perigosos e seu transporte, isto é, o custo em termos de danos pessoais e materiais. A chave para a melhoria das estimativas de custo está na habilidade em se estimar corretamente os riscos de materiais perigosos. É necessário uma discussão sobre riscos a fim de verificar se a natureza e a quantidade de materiais perigosos em trânsito são componentes altamente importantes de risco e, conseqüentemente, de custo.

Existem vários problemas na implementação de qualquer modelo matemático para a estimativa de riscos, o maior deles é a disponibilidade de dados.

6. SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RISCOS DE PRODUTOS PERIGOSOS

A crescente incidência dos acidentes com produtos perigosos e vazamentos químicos, que incluem evacuações da população local, tem resultado no interesse crescente sobre a “avaliação de vulnerabilidade”. A avaliação de vulnerabilidade refere-se à determinação do nível de perigo que é imposto a uma comunidade ou área devido ao transporte de produtos perigosos, e a capacidade da comunidade em reduzir as conseqüências dos vazamentos de produtos perigosos. O entendimento da vulnerabilidade das comunidades aos riscos dos embarques de produtos perigosos é o primeiro passo na direção do planejamento de minimização. (A “vulnerabilidade” é definida como sendo o grau de risco que o produtos perigosos impõe a uma população em particular e também representa a interação de duas dimensões críticas de risco e preparação.)

O risco refere-se à probabilidade de ocorrer um evento perigoso (um acidente com potencial para vazamento de produtos perigosos devido à ruptura no recipiente de carga ou vazamento de produtos perigosos que exige atendimento de emergência) e a probabilidade de que certas conseqüências resultarão a partir do evento (ferimentos e efeitos crônicos na saúde ou danos materiais). A medida do nível de risco associado com produtos perigosos em trânsito pode considerar três possibilidades:

- (a) a probabilidade de ocorrer um acidente,
- (b) a probabilidade de ruptura no recipiente de carga e conseqüente vazamento de produtos perigosos para o meio ambiente, e
- (c) as conseqüências do vazamento em termos da população em risco.

A última estimativa é a mais difícil de quantificar.

A avaliação do domínio das conseqüências exige estimativas da extensão e das características da população em risco e incorpora

- (a) o tipo de produtos perigosos em trânsito (classe de perigo) e propriedades dos produtos perigosos (dados toxicológicos, natureza dos efeitos sobre a saúde e segurança humana, e impactos na qualidade do meio ambiente),
- (b) população em risco (distância de evacuação por tipo de produto químico, densidade populacional), e
- (c) principais fatores geográficos locais.

“Surpreendentemente, pouco é conhecido sobre quantidade e destino de produtos perigosos em trânsito, embarcadores e transportadores envolvidos no seu manuseio, e o número e a gravidade de acidentes que envolveram diretamente produtos perigosos e os riscos subseqüentes e custos para a sociedade. A Lei de Transporte de Materiais Perigosos (HMTA = “*Hazardous Material Transportation Act*”), Título I da Lei de Segurança no Transporte de 1974, representou uma tentativa de reduzir esta falta de informação e controle sistemático. Foi uma expressão da preocupação do congresso com a falta de exigências da legislação anterior. A HMTA autoriza o Departamento de Transportes dos EUA (DOT) a regulamentar a segurança de transporte no comércio de produtos perigosos. Conseqüentemente, todos os aspectos de segurança do manuseio de

produtos perigosos em transporte, incluindo embalagem, rotulação, marcação, e definição de rota, caem dentro do controle regulamentar do DOT.” Pijawka (1985)

Os riscos dos materiais perigosos podem ser reduzidos por meio de planejamento de minimização. A nível federal, a promulgação das ações de regulamentação e exigências é dirigida para a redução de acidentes e suas conseqüências. Os padrões nacionais restritivos para recipientes de materiais perigosos, treinamento dos motoristas, e programas educacionais pretendem reduzir a freqüência dos acidentes e dos vazamentos de substâncias perigosas. A nível local, as medidas de redução de risco tais como determinação de rota, inspeções de segurança na indústria, e zoneamento são difíceis porque estão contidos em normas comunitárias com contrastes nos papéis público e privado. A vulnerabilidade aos riscos de produtos perigosos não é uma mera função do risco. Contrabalançando o risco está o nível de preparo da comunidade.

O preparo é definido como sendo as medidas tomadas para reduzir as conseqüências resultantes de vazamentos químicos. O preparo obviamente inclui atividades como a prevenção dos locais das instalações com populações especiais (lar para idosos, escolas) próximas a rotas com grande volume de fluxo de produtos perigosos, treinamento especializado para os atendentes de emergência que fazem o primeiro contato como o evento, preparação de planos de emergência e evacuação, e o estabelecimento de relacionamentos de ajuda mútua. Ainda que algumas comunidades possam ser expostas a altos níveis de risco devido ao transporte de produtos perigosos, o nível igualmente alto de preparo terá o efeito de reduzir as conseqüências adversas das ocorrências com produtos perigosos e, conseqüentemente, a vulnerabilidade geral.

Quanto maiores os riscos a que uma comunidade fica exposta, maior o investimento que se deveria utilizar em planejamentos de minimização para reduzir as conseqüências do risco. Contudo, o relacionamento entre custos de preparo e redução de vulnerabilidade pode não ser linear. A curva de custo teórica para a redução da vulnerabilidade baseia-se na suposição de que a primeira unidade de investimento no preparo representa um custo altamente variável (a primeira compra de equipamentos ou a primeira preparação de um plano de emergência). Há custos iniciais altos para a quantia de segurança inicialmente obtida. O retorno por unidade investida no preparo é grande, e é maximizado nos 40% de redução da vulnerabilidade. A redução do nível de vulnerabilidade de uma comunidade acima de 40% resultará em custos crescentes por unidade de segurança. A partir de determinado ponto, o custo por unidade de preparo não alcançará uma unidade igual de segurança ganha. Assim, com base nos critérios de risco-benefício, o risco teoricamente aceitável para esta comunidade pode ser alcançado com uma redução de 80% na vulnerabilidade.

Há várias graduações na magnitude de risco de produtos perigosos. Em um nível, o evento pode apresentar uma situação onde exista perigo potencial de que tenha ocorrido um acidente mas o recipiente de carga não tenha se rompido. Em tais casos, o atendimento de emergência é direcionado para:

- (a) prevenção do vazamento do material perigoso,
- (b) remoção do recipiente de fonte de risco da população, e
- (c) evacuação da população potencialmente exposta em caso de vazamento.

Ainda que a magnitude dos efeitos seja expressa na potencialidade do vazamento, o risco pode ser severo e estar condicionado à natureza do produto químico e à proximidade do risco à população. O atendimento a vazamento potencial, contudo, pode ser significativo e resultar em grandes custos para as fontes fiscais da comunidade. Por exemplo, num caso estudado por Pijawka (1985), o potencial de vazamento de gás de cloro após um descarrilamento em Toronto, Ontario, resultou em uma evacuação de aproximadamente 250.000 pessoas e custos secundários substanciais.

O atendimento refere-se a medidas tomadas para

1. Conter ou suprimir o vazamento de produtos perigosos ou sua manifestação de perigo (fogo, vapores tóxicos);
2. Proteger o público do material liberado por meio de avisos, auxílios ou evacuação;
3. Monitorar e avaliar os impactos secundários de longo prazo para a saúde e o meio ambiente; e
4. Limpar o material vazado.

Muitas das literaturas sobre acidentes com produtos perigosos tem lidado com o comportamento do atendimento de emergência e evacuação. A evidência indica que já que o transporte de produtos perigosos é uma preocupação crescente, há sérios problemas no preparo local e no atendimento efetivo a produtos químicos perigosos. Um problema maior na recuperação dos vazamentos de produtos perigosos é o nível tecnológico que está atualmente disponível para a detenção e neutralização do recipiente de carga.

7. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE ROTAS

7.1. Avaliação de Alternativas de Rotas de Transporte de Produtos Perigosos.

Para que o transporte de produtos perigosos se dê com segurança é preciso avaliar as alternativas de rotas de transportes de produtos perigosos. Como escreveu William R. Rhyne (1990) em seu artigo "Avaliação de Rotas Alternativas para o Transporte de Produtos Perigosos e Submissos a Acidentes Aplicando-se Indicadores de Riscos Simplificados e uma Análise Completa da Probabilidade de Riscos":

"Transportes de produtos perigosos são efetivados com segurança todos os dias. Porém acidentes espetaculares, que têm uma frequência baixíssima, são aludidos aos danos aos quais podem ter causado, ou então monitorizados a necessidade frequente de tornarem-se mais conscientes destes riscos visando reduzi-los. Uma forma de reduzir os riscos do transporte de produtos perigosos é evitar as áreas populacionais densas e as rodovias com altas taxas de acidentes. Portanto, uma das aplicações mais frequentes da análise de riscos ao transporte de materiais aos quais são passíveis de acidentes, é a determinação das rotas alternativas."

Dan Kessler (1985), menciona em seu artigo "Estabelecimento de Rotas para Caminhões com Materiais Perigosos para Embarques pela Área de Dallas - Fort Worth", a preocupação com o transporte de produtos perigosos:

"O transporte de materiais perigosos em estradas e auto-estradas na área de Dallas-Fort Worth tem se tornado uma *preocupação significativa* em termos de segurança de transporte. Acidentes recentes envolvendo veículos transportando tais materiais resultaram em extensos danos materiais, congestionamento de trânsito, ferimentos graves, e perdas de vidas".

Também, F. FRANK SACCOMANNO e A. Y. - W. CHAN (1985), no artigo "**Avaliação Econômica das Estratégias de Definição de Rotas para Embarques Rodoviários de Materiais Perigosos**", expressa assim a sua preocupação com o transporte de produtos perigosos e propõem a seguinte estratégia:

"O transporte de materiais perigosos em rodovias urbanas congestionadas tem se tornado uma preocupação importante. Várias estratégias para a redução da incidência de vazamentos acidentais têm sido consideradas. Uma destas estratégias é a de se restringir a movimentação de materiais perigosos em áreas urbanas desviando-a para rotas designadas, onde os riscos potenciais parecem ser menos graves.

Os riscos potenciais dos vazamentos de materiais perigosos podem ser reduzidos restringindo-se os embarques para rotas seguras designadas. Vários critérios podem ser utilizados para designar rotas seguras para caminhões com resultados amplamente variáveis. Três estratégias distintas de definição de rotas para o transporte rodoviário de materiais perigosos podem ser utilizadas: mínimo risco, mínima probabilidade de acidente, e mínimo custo de operação do caminhão. As rotas seguras recomendadas são analisadas para o custo efetivo para uma grande gama de condições ambientais. Dois aspectos importantes surgem a partir desta análise de custo efetivo:

(a) a determinação da rota de mínimo risco produz ganhos econômicos líquidos na forma de melhoria na segurança, e

(b) ocorrem intercâmbios significantes entre os custos de operação do caminhão e os benefícios da segurança. Estes intercâmbios são de caráter fundamental para a melhoria deste tipo de estratégia de segurança para o transporte de materiais perigosos”.

Ainda em seu artigo Saccomanno e Chan (1990) citam Ashton (1979), Nemmers e Williams (1983), House (1984), e Wright e Glickman (1984), que fornecem um estudo extensivo de experiências atuais com estratégias para determinação de rotas seguras na América do Norte e na Europa. Em geral, a prática recente tem sido direcionar os embarques de materiais perigosos para corredores designados, onde o desenvolvimento em terra é menos intenso, e a história de acidentes é menor. A base fundamental deste projeto é determinar as tendências de acidentes passados para o futuro com uma avaliação mínima dos fatores contextuais que afetam a ocorrência de acidentes em localidades específicas na rede rodoviária em diferentes pontos no tempo. Uma avaliação estatística de experiências de acidentes passados, contudo, pode falhar na identificação efetiva daquelas rotas que sejam seguras sob uma grande gama de condições ambientais.”

E assim podemos citar vários estudos ao redor do mundo onde se dá maior ênfase à avaliação de rotas como alternativa para solução ou minimização dos danos causados por acidentes ocorridos no transporte de produtos perigosos.

7.2. Metodologia para Avaliação de Alternativas de Rotas Aplicáveis à Realidade Catarinense.

Encontramos na literatura várias metodologias de avaliação de alternativas de rotas para o transporte de produtos perigosos, das quais citaremos sumariamente, algumas aplicáveis à nossa realidade, tanto a nível de contexto como também da possibilidade de obter dados para a aplicação das mesmas.

7.2.1. Avaliação de Rotas Alternativas para o Transporte de Produtos Perigosos Aplicando-se Indicadores de Riscos Simplificados.

Esta metodologia idealizada por RHYNE (1990), e intitulada “Avaliação de Rotas Alternativas para o Transporte de Produtos Perigosos Aplicando-se Indicadores de Riscos Simplificados e uma Análise Completa da Probabilidade de Riscos”, na qual RHYNE faz uma exposição de quatro indicadores de risco:

1. O total de distâncias em quilômetros percorridos;
2. Os quilômetros vezes a taxa de acidentes;
3. Os quilômetros vezes a população e
4. Os quilômetros vezes a taxa de acidentes vezes a população e sua densidade

Mostraremos através de um exemplo com dados fictícios a escolha da melhor rota de uma rede com duas alternativas de rotas para o transporte de produtos perigosos:

Tabela 7.1 - Dados para análise de alternativas de rotas, segundo Rhyne:

PARÂMETRO	ROTA 1	ROTA 2
O total da distâncias em quilômetros percorridos;		
	300	200
Taxa de acidentes[(acidentes/(veículo e por quilômetro)]		
	$1,5 \times 10^{-6}$	$2,0 \times 10^{-6}$
Densidade Populacional (pessoas/km ²)		
	70	80

Tabela 7.2 - Sumário Qualitativo da Análise do Indicador Simples de Risco:

Opção de Transporte	Quilômetros	Classificação	Quilômetros x Taxa de acidente	Classificação	Quilômetros x População	Classificação	Quilômetros x Taxa de acidentes x População	Classificação
ROTA 1	300	PIOR	0,00045	PIOR	21000	PIOR	0,0315	MELHOR
ROTA 2	200	MELHOR	0,00040	MELHOR	16000	MELHOR	0,0320	PIOR

O primeiro indicador, o total de distâncias em quilômetros percorridos, é geralmente reconhecido pelo indicador de riscos menor quando aplicados isoladamente. A isto conclui-se que, para uma completa inicialidade, aplicando-se este indicador de risco para duas alternativas rodoviárias ou de transporte de caminhões, uma rota de extensão menor é ranqueada como a melhor (rota 2) e, na rota de extensão maior (rota 1), é, classificada como a pior.

O segundo e o terceiro indicador de risco considerados são os quilômetros vezes a taxa de acidentes e os quilômetros vezes a população e sua densidade. Nenhuma alteração ocorre nas classificações ou nos *rankings* para os primeiros três indicadores. Os problemas em potenciais existem: a rota através de densidade menor, a zona populacional a qual espera-se que seja a melhor opção, especialmente entre as alternativas das rodovias

O próximo indicador de risco, quilômetros vezes a taxa de acidentes vezes a densidade populacional produz um reverso na classificação das duas alternativas de transporte por caminhões. Porém, leva em considerações todos os riscos mais importantes. Como a diferença não é muito significativa a escolha pela rota 2 pode ser considerada.

7.2.2. Modelo de Taxa de Acidente com Caminhões para a Determinação de Rotas para Materiais Perigosos

Outra metodologia para avaliação de alternativas de rotas estudada por DOUGLAS et alii (1990), intitulada “Modelo de Taxa de Acidente com Caminhões para a Determinação de Rotas para Materiais Perigosos”, o qual propõem um modelo

revisado para a probabilidade de acidentes a partir das diretrizes de determinação de rotas para materiais perigosos do Departamento de Transportes dos EUA, e sua aplicação é ilustrada utilizando-se taxas de acidentes e vazamentos obtidas para substituir os valores padrões existentes. Também são fornecidos testes estatísticos baseados em distribuições de Poisson e em áreas de contraste para determinar se as taxas de acidentes baseadas nos dados de localidades específicas ou em valores abrangendo todo o sistema. As estimativas das taxas de acidentes e vazamentos são essenciais para a condução das avaliações de risco nos estudos de rotas para o transportes de materiais perigosos em rodovias. A literatura recente tem enfatizado tanto a importância destas taxas na avaliação de risco quanto as deficiências significantes dos dados disponíveis. Novas taxas de acidentes com caminhões são desenvolvidas como função do tipo de rodovia e tipo de área (urbana ou rural) a partir de dados estaduais sobre a geometria das rodovias, volume de tráfego, e acidentes. As probabilidades de vazamentos nos acidentes foram derivadas de uma combinação dos bancos de dados federais e estaduais sobre acidentes com caminhões.

O modelo de avaliação de risco mais largamente aceito para a identificação de rotas preferenciais para o transporte de materiais perigosos é o apresentado nas diretrizes do Departamento de Transporte dos EUA (DOT). Este modelo foi primeiramente apresentado na publicação de 1980 da FHWA *Diretrizes para a aplicação de Critérios para o Transporte de Materiais Perigosos*. Este documento foi recentemente atualizado e republicado pela Administração de Programas Especiais e Pesquisas do DOT.

As diretrizes do DOT baseiam-se na seleção de rotas de mínimo risco, na qual o risco é determinado para segmentos individuais de rotas pela equação

$$\text{Risco} = (\text{Probabilidade de Acidente}) \times (\text{Conseqüências do Acidente}) \quad (7.2.2.1)$$

7.2.2.1. Determinação das Taxas de Acidentes com Caminhões

Um elemento chave na comparação de riscos com as rotas alternativas para o transporte de materiais perigosos é a obtenção de dados confiáveis sobre as taxas de acidentes com caminhões para o uso na determinação das probabilidades relativas de vazamentos de materiais perigosos. O efeito do tipo de rodovia e de área nas taxas de acidentes com caminhões deve ser considerado nos estudos de rotas. Por exemplo, as rodovias de velocidade livre normalmente têm taxas de acidentes menores que outros tipos de rodovias, e as rodovias urbanas (especialmente as de velocidade controlada) normalmente têm maiores taxas de acidentes que as rurais. Tais diferenças entre os tipos de área e de auto-estrada são bem conhecidas para todas as taxas de acidentes com veículos, mas elas foram apenas demonstradas em estudos para caminhões baseados em um número limitado de seções de rodovias. Conseqüentemente, no desenvolvimento de taxas de acidentes com caminhões para o uso como valores padrão em estudos de determinação de rotas para materiais perigosos, dá-se ênfase para a consideração dos tipos de área e rodovia.

A análise das taxas de acidentes com caminhões exigiu três tipos de dados: geometria das rodovias, volumes de tráfego, e registros de acidentes.

Precisa-se de arquivos sobre a geometria das rodovias para se definir as características dos segmentos de rodovias aos quais o volume de caminhões e os dados de acidentes pudessem ser adicionados. Os dados extraídos dos arquivos sobre a geometria do segmento foram:

- Número de faixas,
- Estrutura das faixas (com ou sem divisões),
- Controle de acesso (vias de velocidade livre ou controlada),
- Direção (mão única ou dupla), e
- Tipo de área (urbana ou rural).

7.2.2.1.1 Processamento dos Dados

O processamento destes dados foi conduzido em uma série de cinco etapas utilizando o Sistema de Análises Estatísticas.

O elemento chave no processo foi a interligação do volume de tráfego apropriado e dos dados de acidentes para segmentos individuais de rodovias a partir do arquivo de geometria de rodovias usando o sistema comum de referências de localização (por exemplo, indicadores de quilômetros). Cada etapa para a interligação dos dados destes arquivos é descrita nos parágrafos seguintes.

a) ETAPA 1 :

Os dados de geometria necessários para os segmentos individuais de rodovias foram lidos a partir do arquivo de geometria de rodovias. A classe de auto-estrada (tipo de rodovia e tipo de área) de cada segmento de rodovia foi determinada a partir dos dados disponíveis. As classes de rodovias foram

- Rodovias rurais com duas faixas,
- Rodovias rurais com faixas múltiplas sem divisões,
- Rodovias rurais com faixas múltiplas com divisões,
- Rodovias rurais sem limite de velocidade,
- Ruas urbanas com duas faixas,
- Ruas urbanas com faixas múltiplas sem divisões,
- Ruas urbanas com faixas múltiplas com divisões,
- Ruas urbanas de mão única, e
- Rodovias urbanas sem limite de velocidade.

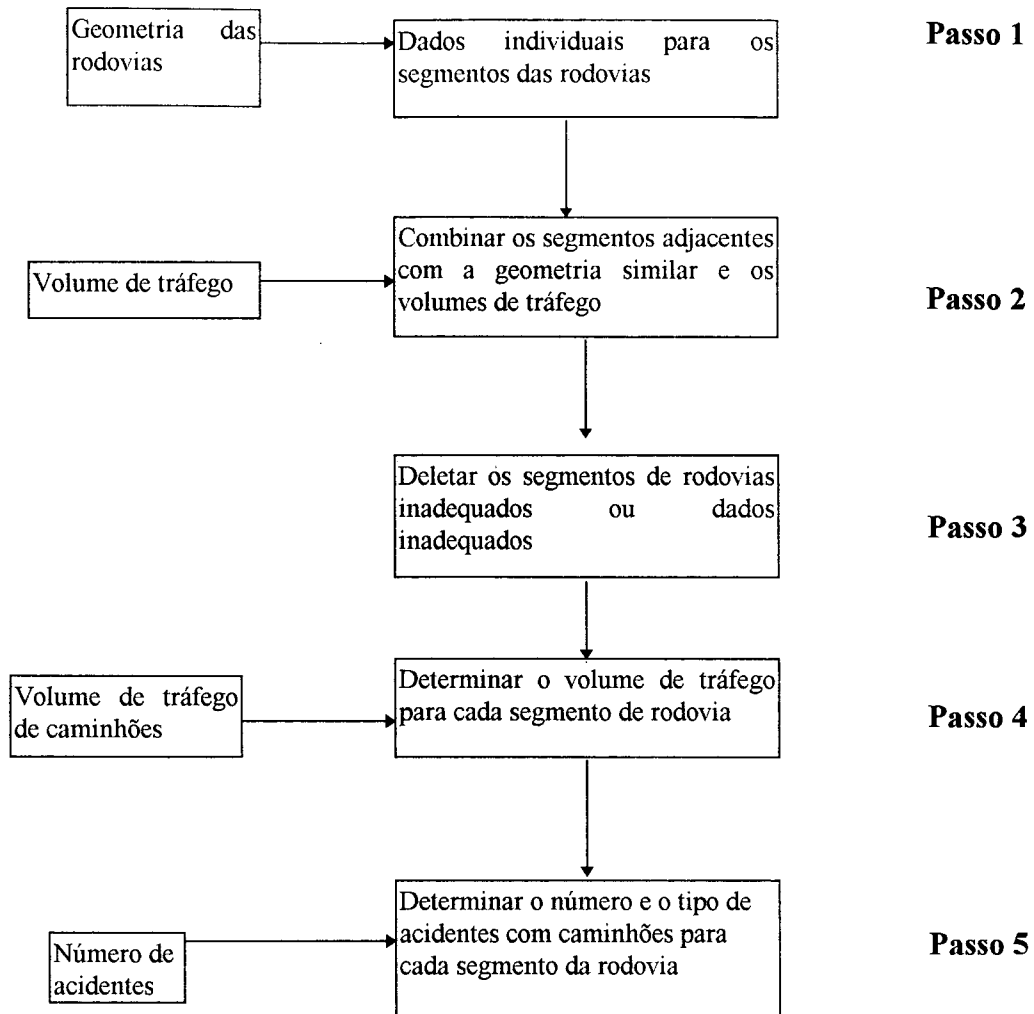


Figura 7.1 - Fluxograma passo-a-passo do processo para a obtenção dos dados de geometria, volume de tráfego de caminhões e dados de acidentes.

b). ETAPA 2

Os segmentos individuais de rodovias, que têm extensões relativamente pequenas, foram mesclados com segmentos longos sempre que os segmentos adjacentes fechavam com a classe de auto-estrada e outras variáveis selecionadas e tinham volumes diários médios de tráfego (V.M.D.) dentro de 20% de um para o outro. Quando os segmentos de rodovias adjacentes foram mesclados, seus volumes V.M.D. foram combinados utilizando uma média elaborada por extensão, como segue:

$$VMD_C = \frac{VMD_1 L_1 + VMD_2 L_2}{L_1 + L_2} \quad (7.2.2.2)$$

onde

$V.M.D.C$ = volume de tráfego diário médio sobre segmentos combinados,
 $V.M.D.i$ = tráfego diário médio no Segmento de Rota i ($i = 1, 2$), e

L_i = extensão (quilômetros) do Segmento de Rota i ($i = 1, 2$).

c) ETAPA 3

Quaisquer segmentos de rodovias para os quais não houver dados disponíveis sobre o volume de caminhões ou acidentes ou que não combinar com uma das classes de rodovias selecionadas devem ser eliminados da análise.

d) ETAPA 4

Os volumes de caminhões para as seções mescladas são obtidos do arquivo de volume. Os dados sobre o volume de caminhões foram utilizados com a extensão do segmento para computar os quilômetros-veículo anuais de viagens de caminhões em cada segmento:

$$CMVV_i = CMDC_i \times L \times 365 \quad i = 1, 2 \quad (7.2.2.3)$$

onde:

$CMVV_i$ = viagem anual do caminhão (milha-veículo) no Segmento de Rota i , e

$CMDC_i$ = volume médio diário de caminhões em veículos por dia no Segmento de Rota i .

e) ETAPA 5

Os dados sobre os acidentes com caminhões foram obtidos a partir dos arquivos de acidentes. Cada acidente envolvendo caminhão foi classificado por ano, gravidade, e tipo. O sistema comum de referência de localização que liga o acidente e os arquivos de geometria foi utilizado para determinar em que segmento a localização registrada de cada acidente caiu e para totalizar o número de acidentes dentro de cada segmento por ano, nível de gravidade, e tipo. O resultado da Etapa 5 foi um arquivo contendo os volumes de caminhões e as histórias dos acidentes com caminhões para segmentos individuais de rodovias que podem ser usados para taxas computadorizadas de acidentes com caminhões e emitir as probabilidades.

7.2.2.1.2. Análise dos Dados

A taxa média de acidente com caminhões para cada classe de auto-estrada foi computada como a taxa total de acidentes com caminhões para totalizar os quilômetros-veículo de viagens de caminhão para aquela classe de auto-estrada. A seguinte equação é utilizada:

$$TAC_j = \sum_i \frac{A_{ij}}{MVV_{ij}} \quad (7.2.2.4)$$

onde

TAC_j = taxa média de acidente com caminhões para a Classe de Rodovias j ,

A_{ij} = número de acidentes por ano no Segmento de Rota i na Classe de Auto-Estrada j , e

MVV_{ij} = quilômetros-veículo anuais de viagem no Segmento de Rota i na Classe de Rodovias j .

Este procedimento é aplicado a todos os arquivos existentes de acidentes, volume de tráfego, e geometria para os sistemas federais de rodovias que puderam ser ligados por meio de indicadores de quilômetros.

Tenta-se determinar a relação entre dois fatores de volume de tráfego (TMDA e percentual de caminhões) e a taxa de acidente com caminhões, para se obter resultados consistentes. A consideração dos efeitos de variáveis adicionais de geometria (incluindo largura das faixas, largura dos acostamentos, elevadas, interseções, e ruas) sobre as taxas de acidentes com caminhões está fora do objetivo do estudo, mas é desejável determinar tais efeitos e incorporá-los nos estudos de determinação de rotas para materiais perigosos. Contudo, deve-se reconhecer que o desenvolvimento de relações confiáveis entre as características geométricas e os acidentes é uma tarefa estatística difícil. As tentativas anteriores registradas para determinar os efeitos de incrementação das características geométricas individuais sobre as taxas de acidentes misturaram os resultados, e nenhum grupo de relações acidente-geometria é amplamente aceito.

7.2.2.2. Determinação das Probabilidades de Vazamento de Materiais Perigosos

A parte das probabilidades das diretrizes para determinação de rotas do DOT baseia-se nas probabilidades de acidentes. Evidentemente, um acidente envolvendo caminhão com materiais perigosos não pode levar a consequência potencialmente catastróficas a menos que os materiais perigosos transportados sejam liberados. Consequentemente, a metodologia atual para a avaliação de risco presume que os vazamentos de materiais perigosos têm a mesma probabilidade em todos os acidentes.

A probabilidade de vazamento em um acidente envolvendo um veículo de transporte de materiais perigosos para uma classe em particular de auto-estrada pode ser computada como

$$P(V/A)_j = \sum_k P(V/A)_k \times P(k)_j \quad (7.2.2.5)$$

onde

$P(V/A)_j$ = probabilidade de vazamento de materiais perigosos em acidente envolvendo veículo de transporte de materiais perigosos para a Classe de Rodovias j .

$P(V/A)_k$ = probabilidade de vazamento de materiais perigosos em acidente envolvendo veículo de transporte de materiais perigosos para o Tipo de Acidente k e

$P(k)_j$ = probabilidade de que um acidente na Classe de Auto-Estrada j tenha o Tipo de Acidente k (ou seja, proporção de acidentes com caminhões para cada tipo de acidente na Classe de Rodovias j a partir dos dados estaduais de acidentes).

7.2.2.3. Procedimentos Revisados para a Determinação das Taxas de Acidentes

Nas diretrizes atuais do DOT, a taxa de um acidente com materiais perigosos é computada no modelo de avaliação de risco a partir da seguinte equação:

$$T(A)_i = TA_i \times E_i \quad (7.2.2.6)$$

onde

$T(A)_i$ = taxa de um acidente com materiais perigosos para o Segmento de Rota i ,

TA_i = taxa de acidente por quilômetro-veículo para todos os tipos de veículos no Segmento de Rota i , e

E_i = extensão (em quilômetros) do Segmento de Rota i .

A disponibilidade destas probabilidades para taxa de acidente e vazamento permite a estimativa da probabilidade de um acidente com materiais perigosos com vazamento. A taxa de um acidente com vazamento deve ser computada por meio da seguinte equação (a qual substitui a Equação 7.2.2.6 nas diretrizes do DOT):

$$P(V)_i = TAC_i \times P(V/A)_i \times E_i \quad (7.2.2.7)$$

onde

$P(V)_i$ = taxa de um acidente envolvendo vazamento de materiais perigosos para o Segmento de Rota i ,

TAC_i = taxa de acidentes com caminhões (acidentes por quilômetro-veículo para o Segmento de Rota i ,

$P(V/A)_i$ = probabilidade de vazamento de materiais perigosos em acidente envolvendo caminhão transportando materiais perigosos para o Segmento de Rota i , e

E_i = extensão (quilômetros) do Segmento de Rota i .

A Equação 7.2.2.7 é mais apropriada para as análises de determinação de rotas para materiais perigosos que a Equação 7.2.2.6 porque:

(a) o risco baseia-se na probabilidade de vazamento de materiais perigosos mais do que apenas na probabilidade de um acidente, e

(b) o risco baseia-se nas taxas de acidentes com caminhões mais do que nas taxas de acidentes com todos os tipos de veículos. A Equação 7.2.2.7 mantém a proporcionalidade do risco para a extensão do segmento de rota, o que é vital para todas as análises de determinação de rotas.

Podemos obter valores típicos das probabilidades das taxas de acidentes com caminhões e vazamentos utilizando valores padrões e empregando a Equação 7.2.2.7. Contudo, os usuários deveriam desenvolver valores padrões a partir dos dados médios para sua própria jurisdição. Um aspecto chave é que as probabilidades das taxas de acidentes com caminhões e vazamentos variam com o tipo de área (urbana ou rural) e com o tipo de rodovia.

Em muitos casos, as taxas de acidentes com caminhões ou, preferencialmente, os valores médios para a própria jurisdição do usuário devem ser utilizadas como sendo o valor de TAC_i na Equação 7.2.2.7. Contudo, pode-se utilizar um procedimento estatístico simples baseado no teste de aproximação da realidade para determinar se a frequência real de acidentes para um segmento de rota em particular é suficientemente maior ou menor que a frequência estimada de acidentes para garantir a substituição das taxas padrão de acidentes com caminhões por taxas de localidades específicas baseadas nas histórias dos acidentes. Tal procedimento é utilizado como segue.

a) ETAPA 1

Obter os dados de acidentes com caminhões para um segmento de rota em particular. Os dados de acidentes com caminhões devem cobrir o maior período de tempo possível sem a introdução de efeitos externos causados por alterações de tráfego, geometria, ou operacionais. Tal frequência de acidentes observada é referida como sendo A_o .

b) ETAPA 2

Computar o número estimado de acidentes com caminhões para o mesmo período utilizando as taxas padrão de acidentes com abrangência de todo o sistema. A frequência estimada para os acidentes com caminhões pode ser computada como

$$A_e = TAC \times MDTC \times E \times 365 \times N \times 10^{-6} \quad (7.2.2.8)$$

onde

A_e = número estimado de acidentes com caminhões,
 TAC = taxa de acidentes com caminhões estimada (acidentes por quilômetro-veículo) com base nos dados de valores padrões ou dados estaduais,
 MDTC = média diária do tráfego de caminhões (veículos por dia),
 E = extensão do segmento de auto-estrada (quilômetros), e
 N = duração do período de estudo (anos).

Se $A_e \geq 5$, o procedimento de aproximação da realidade dado na Etapa 3A deve ser utilizado. Se $A_e < 5$, o volume de amostragem do acidente é muito pequeno para utilizar o procedimento de aproximação da realidade, e um procedimento alternativo (apresentado na Etapa 3B) baseado nos valores da distribuição Poisson, mostrados na Tabela 7.3, deve ser utilizado.

Tabela 7.3.: Tabela Poisson

VALORES CRÍTICOS DA DISTRIBUIÇÃO DE POISSON	
A_e = número estimado de acidentes	Valores críticos de A_o com nível de significância de 5%
1.0	4
1.5	5
2.0	6
2.5	6
3.0	7
3.5	8
4.0	9
4.5	9

Fonte: Douglas (1990)

c) ETAPA 3A

Se $A_e \geq 5$, compare os números estimados e observados de acidentes computando a estatística de aproximação como segue:

$$x^2 = \frac{(A_e - A_o)^2}{A_e} \quad (7.2.2.9)$$

onde

x^2 = estatística de aproximação,
 A_e = número estimado de acidentes com caminhões, e
 A_o = número observado de acidentes com caminhões.

Se $x^2 \leq 4$, então os números estimados e observados de acidentes não diferem significativamente ao nível de 5 %. Conseqüentemente, a taxa padrão de acidentes abrangendo todo o sistema deve ser utilizada ao invés dos dados de acidentes para localidades específicas.

Se $x^2 > 4$, então os números estimados e observados de acidentes diferem significativamente. Tal resultado indica que a taxa de acidente observada é menor ou maior ao nível de 5 % que o valor padrão para todo o sistema. Neste caso, a taxa de acidente padrão para todo o sistema deve ser substituída por um valor baseado nos dados de localidades específicas. Caso a taxa de acidentes para localidades específicas seja maior que a taxa padrão de acidentes, a taxa para localidades específicas deve ser utilizada. Caso a taxa de acidentes para localidades específicas atinja menos que 50% da taxa padrão de acidentes, deve ser utilizada. Mesmo que o segmento de rodovia não tenha experimentado acidentes durante o período de estudo, ainda há risco envolvendo o transporte de materiais perigosos, e é recomendado o uso de 50 % da taxa padrão de acidentes.

d). Etapa 3B

Um procedimento alternativo baseado na distribuição Poisson é utilizado sempre que $A_e < 5$, porque o teste de aproximação da realidade não é aplicável a um volume de amostragem de acidentes tão pequeno. Os valores críticos são obtidos a partir da distribuição Poisson para testar a significância das diferenças dos números estimados de acidentes.

Caso A_o exceda o valor crítico dado pela distribuição de Poisson para o valor conhecido de A_e , então as frequências de acidentes estimadas e observadas diferem significativamente. Nestes casos, a taxa padrão de acidentes para todo o sistema deve ser substituída pela taxa de acidentes de localidade específica, calculada como

$$TAC = \frac{A_o \times 10^6}{MDTC \times E \times 365 \times N} \quad (7.2.2.10)$$

Se $A_e < 5$, é recomendado que a taxa padrão de acidentes não seja reduzida, porque o volume de amostragem disponível é raramente apropriado para indicar uma taxa real de acidentes menor que o valor estimado.

7.2.2.4 Exemplo Numérico

Para ilustrar os procedimentos utilizaremos dois exemplos numéricos teóricos simples ilustrando assim os procedimentos recomendados para avaliação de risco, com ênfase nos procedimentos revisados para a determinação das probabilidades de acidentes.

O primeiro exemplo indica o modo pelo qual um estado utilizaria as probabilidades das taxas de acidentes com caminhões e vazamentos com base em seus próprios dados. O segundo exemplo mostra o uso de valores padrão para as probabilidades das taxas de acidentes com caminhões e vazamentos.

Ambos os exemplos direcionam-se aos riscos relativos dos embarques de materiais perigosos na rede de auto-estradas simples. Os embarques de materiais perigosos devem se movimentar do Ponto 1 ao Ponto 5 pela Rota A ou pela B as quais têm distância de 16.5 e 11 quilômetros, respectivamente. A Rota A é composta por três segmentos designados 1-2, 2-3, e 2-5, e a Rota B é composta por dois segmentos designados 1-4 e 4-5.

O Exemplo 1 envolve um departamento estadual de auto-estradas que utilizou seus dados próprios de acidentes com caminhões, volume de caminhões, e geometria para desenvolver valores de aplicação local para as probabilidades das taxas de acidentes com caminhões e vazamentos utilizando o procedimento apresentado na seção anterior. Para fins de ilustração, as taxas de acidentes com caminhões e as probabilidades de vazamentos na Califórnia, Douglas (1990), serão utilizadas neste exemplo.

A Tabela 7.4 apresenta os dados básicos de acidentes com caminhões para cada segmento de rota e a aplicação do teste de aproximação da realidade para determinar se

deve ser utilizada a taxa estimada de acidentes com caminhões ou a taxa de acidentes para localidade específica. Para cada segmento de rota, o número estimado de acidentes com caminhões em 3 anos é comparado com o número real de acidentes com caminhões observados durante aquele período de tempo. Para os segmentos de rota 1-2, 2-3, 3-5, e 1-4, o valor calculado de χ^2 é menos de 4,0; indicando que a estimativa estadual para a taxa de acidentes com caminhões deve ser utilizada preferencialmente com relação aos dados de acidentes em localidades específicas. O uso dos dados de acidentes para localidade específica estaria equivocado nestes casos, porque não há evidência de que seus desvios dos valores estimados não sejam apenas aleatórios. O Segmento de Rota 4-5 recebeu a estimativa de 43,5 acidentes em 3 anos, mas na realidade ocorreram 65 acidentes. Neste caso, o valor computado de χ^2 é de 10,59; que é significativamente maior que 4,0 e que é altamente significativo estatisticamente. Para este segmento, o estado deveria utilizar a taxa de acidentes para localidade específica de 2,37 acidentes/milhão de quilômetros-veículos computados a partir da Equação 7.2.2.10, ao invés do valor estimado de 1,59 acidentes/milhão de quilômetros-veículos.

Tabela 7.4 Comparação das taxas de acidentes com caminhões utilizando o teste de aproximação - Exemplo 1

(01)	(02)	(03)	(04)	(05) ^a	(06)	(07)	(08) ^b	(09)	(10) ^c	(11)	(12)
A	1-2	Rural	Duas faixas	1,73	500	6,0	5,7	7	0,31	N	1,73
	2-3	Rural	Multi-dividida	1,23	1000	6,0	8,1	5	1,17	N	1,23
	3-5	Urbana	Sem limites de velocidade	1,59	4500	4,5	35,3	44	2,17	N	1,59
B	1-4	Rural	Sem limites de velocidade	0,53	1500	6,0	5,2	9	2,73	N	0,53
	4-5	Urbana	Sem limites de velocidade	1,59	5000	5,0	43,5	65	10,59	Y	2,37 ^d
			Sem limites de velocidade								

^a Douglas(1990)

^b Equação (7.2.2.4)

^c Equação (7.2.2.5)

^d Equação (7.2.2.10)

(01) = Rota

(02) = Segmento de rota

(03) = Tipo de área

(04) = Tipo de via

(05) = Taxa de acidentes esperada (n° de acidentes/veículo*km)

(06) = TMDA (ve/dia)

(07) = Extensão da via (km)

(08) = Número esperado de acidentes com caminhões em 3 anos

(09) = Número observado de acidentes com caminhões em 3 anos

(10) = Qui-quadrado (χ^2)

(11) = $\chi^2 > 4$?

(12) = Taxa de acidentes com caminhões para uso na avaliação do risco (n° de acidentes/veículo*km)

A Tabela 7.5 apresenta a aplicação das revisões recomendadas ao método de avaliação de risco do DOT. As probabilidades de acidentes para cada segmento de rota no método revisado são determinadas como sendo o produto das taxas estimadas de acidentes com caminhões desenvolvidas na Tabela 7.4, das probabilidades de vazamento do estudo realizado por Douglas (1990), e das extensões do segmento de rota. As conseqüências do acidentes são representadas pelo número de pessoas potencialmente expostas a vazamentos de materiais perigosos por unidade de extensão, calculado a partir da densidade populacional ao longo do segmento de rota e da largura da zona de

impacto. Neste caso, uma zona de impacto de 0,5 quilômetros de cada lado da rodovia foi selecionada.

O risco populacional para cada segmento de rota na Tabela 7.5 é computado como sendo o produto da probabilidade de acidente e o número de pessoas expostas por unidade de extensão. O risco populacional total para cada rota é a soma dos riscos para cada um dos segmentos individuais que perfazem a rota. Os resultados (na Tabela 7.5) indicam que a Rota B envolve pouco menos riscos que a Rota A. A Rota B seria a rota preferível para embarques de materiais perigosos a menos que hajam fatores qualitativos ou subjetivos que favoreçam a Rota A. Há ainda outros fatores que podem influenciar a escolha entre as rotas alternativas para o transporte de materiais perigosos. Estes fatores são identificados nas diretrizes do DOT e incluem populações especiais, propriedades especiais, e capacidades de atendimento de emergência.

Tabela 7.5 Avaliação de risco para a determinação de rotas de materiais perigosos utilizando o método FHWA revisado - Exemplo 1

(01)	(02)	(03) ^a	(04) ^b	(05)	(06) ^c	(07)	(08)	(09) ^d	(10) ^e	(11) ^f	(12)
A	1-2	1,73	0,100	6,0	1,038	800	0,500	4800	800	830	3.786
	2-3	1,23	0,100	6,0	0,738	1.000	0,500	6000	1.000	738	
	3-5	1,59	0,062	4,5	0,444	5.000	0,500	22500	5.000	2.218	
B	1-4	0,53	0,083	6,0	0,264	1.000	0,500	6000	1.000	264	3.944
	4-5	1,59	0,062	5,0	0,736	5.000	0,500	25000	5.000	3.680	

^a Dados da coluna 12 da Tabela 7.4

^b Douglas (1990)

^c Calculado por: $(3) \times (4) \times (5)$ pela Equação (7.2.2.7)

^d Calculado por: $2 \times (7) \times (8) \times (5)$

^e Calculado por: $\frac{(9)}{(5)}$

^f Calculado por: $(6) \times (10)$

(01) = Rota

(02) = Segmento de rota

(03) = Taxa de acidentes (acidentes por milhão de ve-km)

(04) = Probabilidade de vazamento dado a ocorrência de um acidente

(05) = Extensão da via (km)

(06) = Taxa de vazamento (acidente com vazamento/vei)

(07) = Densidade populacional (pessoas/km²)

(08) = Zona de impacto (km)

(09) = Total de pessoas expostas

(10) = Total de pessoas expostas por quilômetro

(11) = População de risco

(ac*pessoas/vei-km)

(12) = Total da população de risco para a rota A e para a rota B (ac*pessoas/vei-km).

Exemplo 2 - Uso das Taxas Padrão de Acidentes

O Exemplo 2 faz uso da mesma rede de auto-estradas utilizada no primeiro exemplo, com leves alterações para os volumes de caminhões e ocorrências de acidentes em alguns dos segmentos de rotas. Este exemplo ilustra o uso das probabilidades para as taxas padrão de acidentes com caminhões e vazamentos do estudo efetuado por Douglas (1990).

A Tabela 7.6 apresenta os dados básicos de acidentes para cada segmento de rota e a aplicação do teste de aproximação. Os valores calculados de x^2 para os segmentos 2-3, 3-5, e 1-4 são menos que 4,0; como no primeiro exemplo, indicando que a taxa padrão de acidentes com caminhões deveria ser utilizada ao invés da taxa de acidentes para localidade específica. Como no primeiro exemplo, o valor calculado de x^2 para o segmento de rota 4-5 é maior que 4,0; indicando que a taxa de acidente para localidade específica deveria ser utilizada ao invés do valor padrão.

Tabela 7.6 Comparação das taxas de acidentes com caminhões utilizando o teste de aproximação - Exemplo 1

(01)	(02)	(03)	(04)	(05) ^a	(06)	(07)	(08) ^b	(09)	(10) ^c	(11)	(12)
A	1-2	Rural	Duas faixas	2,73	200	6,0	2,9	8	d	Y ^d	6,09
	2-3	Rural	Multi-dividida	2,15	1000	6,0	14,1	9	1,84	N	2,15
	3-5	Urbana	Sem limites de velocidade	2,18	4500	4,5	48,3	55	0,93	N	2,18
B	1-4	Rural	Sem limites de velocidade	0,64	1500	6,0	6,3	9	1,16	N	0,64
	4-5	Urbana	Sem limites de velocidade	2,18	5000	5,0	59,7	76	4,45	Y	2,77 ^e

^a Douglas(1990)

^b Equação (7.2.2.8)

^c Equação (7.2.2.9)

^d O teste do qui-quadrado não pode ser aplicado porque $A_e < 5$. Logo A_0 é comparado com valor crítico da distribuição de Poisson (Tabela 7.3), é então interpolado.

^e Equação (7.2.2.10)

(01) = Rota

(02) = Segmento de rota

(03) = Tipo de área

(04) = Tipo de via

(05) = Taxa de acidentes esperada (n° de acidentes/veículo*km)

(06) = TMDA (veí/dia)

(07) = Extensão da via (km)

(08) = Número esperado de acidentes com caminhões em 3 anos

(09) = Número observado de acidentes com caminhões em 3 anos

(10) = Qui-quadrado (x^2)

(11) = $x^2 > 4$?

(12) = Taxa de acidentes com caminhões para uso na avaliação do risco (n° de acidentes/veículo*km)

O Segmento de Rota 1-2 na Tabela 7.6 representa uma exceção importante para o teste de aproximação. Estima-se que este segmento de rota experimente apenas 2,9 acidentes com caminhões em um período de 3 anos. O teste de aproximação não é aplicável quando o número estimado de acidentes com caminhões (A_e) for menos de 5, então o teste alternativo baseado na distribuição Poisson deve ser utilizado. A interpolação na Tabela 3 indica que o valor crítico da distribuição Poisson é de 6,8 acidentes quando $A_e = 2,9$. Devido a que este segmento de rota experimentou mais que este número crítico de acidentes em 3 anos, a taxa de acidentes para localidade específica, computada de acordo com a Equação 10, foi utilizada ao invés do valor padrão.

A Tabela 7.7 apresenta a aplicação do procedimento revisado da FHWA para a avaliação de risco nos dados do segundo exemplo. Estes cálculos são completamente análogos ao do primeiro exemplo na Tabela 7.5. Os resultados indicaram que, para as condições do segundo exemplo, a Rota B envolve pouco menos risco que a Rota A.

A Rota B seria a rota preferível para os embarque de materiais perigosos a menos que haja fatores qualitativos ou subjetivos que favoreçam a Rota A.

Tabela 7.7 - Avaliação de risco para a determinação de rotas de materiais perigosos utilizando o método FHWA revisado - Exemplo 1

(01)	(02)	(03) ^a	(04) ^b	(05)	(06) ^c	(07)	(08)	(09) ^d	(10) ^e	(11) ^f	(12)
A	1-2	2,19	0,086	6,0	1,130	800	0,500	4800	800	904	5003
	2-3	2,15	0,082	6,0	1,058	1.000	0,500	6000	1.000	1058	
	3-5	2,18	0,062	4,5	0,608	5.000	0,500	22500	5.000	3041	
B	1-4	0,64	0,090	6,0	0,346	1.000	0,500	6000	1.000	346	4636
	4-5	2,77	0,062	5,0	0,858	5.000	0,500	25000	5.000	4290	

^a Dados da coluna 12 da Tabela 7.6

^b Douglas (1990)

^c Calculado por: $(3) \times (4) \times (5)$ pela Equação (7.2.2.7)

^d Calculado por: $2 \times (7) \times (8) \times (5)$

^e Calculado por: $\frac{(9)}{(5)}$

^f Calculado por: $(6) \times (10)$

(01) = Rota

(02) = Segmento de rota

(03) = Taxa de acidentes (acidentes por milhão de ve-km)

(04) = Probabilidade de vazamento dado a ocorrência de um acidente

(05) = Extensão da via (km)

(06) = Taxa de vazamento (acidente com vazamento/vei)

(07) = Densidade populacional (pessoas/km²)

(08) = Zona de impacto (km)

(09) = Total de pessoas expostas

(10) = Total de pessoas expostas por quilômetro

(11) = População de risco

(ac*pessoas/vei-km)

(12) = Total da população de risco para a rota A e para a rota B

(ac*pessoas/vei-km).

7.2.3. Avaliação de Risco e Segurança no Transporte de Materiais Perigosos.

Temos ainda a metodologia apresentada por RAYMOND et alii (1985) em artigo intitulado "Avaliação de Risco e Segurança no Transporte de Materiais Perigosos", no qual o mesmo propõe em sugerir um projeto para um modo mais realista para a determinação de uma situação de segurança geral ao invés de simplesmente o risco de acidente. Concentrando-se no transporte em rodovias para simplificar a análise, desenvolveu-se um conjunto de situações modelo que levam a um índice de avaliação de segurança comunitária. Este índice é, por sua vez, elaborado a partir de um índice de preparação comunitária e um índice de risco comunitário. A questão é que as técnicas de avaliação de risco atualmente oferecidas não prevêm distinção entre estes dois modos de medir a segurança (preparo e risco), e não faz distinção entre as variáveis dentro do controle das comunidades e aquelas fora deste controle.

7.2.3.1. Um Modelo Proposto para a Avaliação da Segurança da Comunidade

Os dois elementos de um modelo de Avaliação da Segurança Geral Comunitária são: o risco comunitário (CR) e o preparo da comunidade (CP).

CR é desenvolvido a partir de uma formulação do nível do risco de um acidente com veículo motorizado [RL (mvi)], o nível de risco de um acidente com materiais perigosos [RL (hmi)], nível do volume de tráfego (Ltv), e fatores de risco comunitário.

$$RL(mvi) = Ltv \times (Ni \text{ ou } Nr + Nhc + Nvc + Cp + Cm + Nrh + Ctc) \quad (7.2.3.1)$$

onde

Ni = número de interseções por quilômetro,

Nr = Número de vias de entrada e saída por quilômetro,

Nhc = número de curvas horizontais por quilômetro,

Nvc = número de curvas verticais por quilômetro,

Cp = condições de pavimentação (por exemplo, Índice de Uso do Pavimento, baseado no Índice de Utilização Presente da AASHTO),

Cm = condições da pista (por exemplo, escala de 1 a 10, com 1 = proteção lateral positiva, corretamente escolhida, corretamente instalada, e mantida; e 10 = sem proteção lateral, largura média de 20 pés ou menos),

Nrh = número de acidentes rodoviários por quilômetro (por exemplo, escala de 1 a 10, com 1 = sem acidentes rodoviários, zona lateral limpa de 30 pés ou paredes de amortecimento nas proteções laterais; e 10 = 20 acidentes primários ou 30 acidentes secundários ou uma combinação dos dois), e

Ctc = condições dos equipamentos de controle de tráfego (sinalização, semáforos, marcações) (por exemplo, escala de 1 a 10, com 1 = excelente, e 10 = grande número de equipamentos em péssimas condições).

Assim, o RL(hmi) pode ser expresso como segue:

$$RL(hmi) = RL(mi) \times \{P(ex) \times 5,5 + P(fl) \times 2,5 + P(cg) \times 4,0 + P(c) \times 1,0 + P(p) \times 1,0\} \times Lv \times Ld \quad (7.2.3.2)$$

onde

P(ex) = proporção de veículos com explosivos em TMDA (por exemplo, uso do percentual originado a partir de pesquisas de amostragem; as pesquisas de amostragem devem cobrir as 24 horas, todos os dias da semana, e as quatro estações do ano);

P(fl) = proporção de veículos com líquidos inflamáveis em TMDA;

P(cg) = proporção de veículos com gás comprimido em TMDA;

P(c) = proporção de veículos com corrosivos em TMDA;

P(p) = proporção de veículos com substâncias tóxicas em TMDA [os multiplicadores (5,5; 2,5; 4,0; 1,0; 1,0) basearam-se no impacto comparativo aproximado de um acidente];

Lv = nível do veículo, incluindo condições físicas, como o material é carregado, sistema de freios, idade do veículo, condições das rodas, e tipo de recipiente de carga - a avaliação do recipiente deve ser baseada nos critérios do Departamento de Segurança de Veículos Transportadores Motorizados, Administração de Rodovias Federais, Departamento de Transportes dos EUA. Esta avaliação também se relaciona aos medidores e instrumentos disponíveis nos veículos; e

Ld = nível do motorista (incluindo experiência do motorista, história de acidentes/infrações, treinamento, consciência das regulamentações, consciência de ações de situações de emergência, e conhecimento do potencial do material transportado).

Assim

$$CR = RL(hmi) \times \{Dp + Na + VS + Ns\} \quad (7.2.3.3)$$

onde

Dp = densidade populacional das áreas atingidas (por exemplo, a partir das classificações para áreas específicas do Departamento de Censo, disponíveis aos representantes comunitários, em uma escala de rural e densamente urbanizado);

Na = número de agentes de materiais perigosos (fabricantes, receptores, e depositários); isto exige uma pesquisa de ocupação das terras;

VS = valor em dólares das propriedades afetadas; e

Ns = número de instalações sensíveis (por exemplo, escolas, hospitais, igrejas, lar para idosos, livrarias, instalações industriais, e áreas de concentrações públicas).

O elemento CP é formulado da seguinte maneira:

$$CP = Ler + Lec \quad (7.2.3.4)$$

Onde Ler é o nível de capacidade de atendimento de emergência (por exemplo, treinamento, equipamentos, comunicação, transporte, força humana, capacidade de evacuação, tempo de atendimento, planejamento, e exercícios). Os serviços de preparação e conscientização do público incluem serviços de bombeiros, polícia, saúde e hospitais, trabalhos públicos, e contratação de pessoal. Lec é o nível de exigência regulamentar e cumprimento, incluindo o nível de treinamento do pessoal (polícia e bombeiros); número de inspeções, nas instalações fixas e nas rodovias; história de infrações; história de vazamentos e acidentes; e estrutura de penalidades.

O CP, quando combinado com o CR, fornece uma avaliação de segurança comunitária geral (CSA) como pode ser observado na Equação 5.

$$CSA = CP/CR \quad (7.2.3.5)$$

O valor conseqüente de CSA, como um produto de CP e CR, refletirá a situação de segurança comunitária geral relativa ao transporte de materiais perigosos. Por exemplo, valores entre 1 e 5 para CP, com 5 como sendo a “melhor” condição, ou o nível CP mais elevado, e entre 0,1 e 1,0 para CR, com 1,0 como sendo a “pior” condição, ou o nível CR mais elevado, oferecem os seguintes valores para CSA: na condição do pior caso, CP = 1, CR = 1,0: CSA = 1; e na condição do melhor caso, CP = 5, CR = 0,1: CSA = 50.

Aplicação do Modelo CSA

Metodologia de Avaliação de Segurança, Preparo, e Risco

Para avaliar os valores de risco, preparo e segurança, é necessário recorrer à Equação 1. Como exemplos, seguem os volumes de tráfego e um sistema simplificado de graduação do nível de volume:

<u>Rodovia</u>	<u>TMDA</u>	<u>Nível</u>
1	75.000	10
2	30.000	6
3	24.000	5
4	24.000	5

Os valores estimados de risco (de Ni até Cte), são dados no Quadro 7.2.3.1 a tabela abaixo. Por meio da normalização de todos os valores para se manter uma margem de 1 a 10, o RL(mvi) é calculado para ter valor entre 8 e 4,5. Assim, CR = 0,7 (em uma escala de 0,1 a 1,0), e CP = 2,5 (em uma escala de 1 a 5). Então, CSA = $2,5/0,7 = 3,6$.

Quadro 7.2.3.1 - Índices de risco comunitários de RAYMOND et alii (1985)

RODOVIA	Ni-Nr	Nhc	Nve	Cp	Cm	Nrh	Cte
1	3	3	3	5	8	10	8
2	2	3	2	4	10	10	8
3	2	5	2	3	10	10	6
4	2	4	3	4	10	10	7

Avaliação

O valor CSA, em 3,6, é claramente abaixo do valor crítico estipulado de CSA = 25. O valor CSA pode ser aumentado, aumentando-se o valor de CP, ou, diminuindo-se o valor de CR, ou ambos os casos.

Se for suposto que o CP pode ser melhorado até seu valor máximo (CP = 5), nota-se que este permanece, em 7,14, bem abaixo do valor crítico.

Se for então suposto que RL(mvi) será reduzido reduzindo-se o valor de cada um dos fatores de risco para 1, o CR é reduzido para 0,3.

Isto aumenta o CSA para um valor de 16,7, ainda bem abaixo do valor crítico estipulado. Algumas opções para tal aumento podem ser consideradas, tais como:

- Redefinição da rota para todo o tráfego;
- Redefinição da rota dos veículos com materiais perigosos;
- Transferência da população;
- Transferência dos agentes dos materiais perigosos;
- Mudança das instalações sensíveis;
- Redução da velocidade de tráfego;
- Escolta (comboio) para veículos com materiais perigosos;
- Restringir os veículos com materiais perigosos para apenas a 1-88, pistas específicas, velocidades reduzidas, sob escolta, etc.; e
- Construção de muros de proteção, etc.

Outras soluções similares podem ser disponíveis, mas é claro que a preparação em si não consegue reduzir a vulnerabilidade, e conseqüentemente não consegue melhorar a segurança, ainda, um alto nível de preparação é essencial.

As variáveis que são mais difíceis de serem melhoradas em qualquer situação existente são precisamente aquelas que podem ser evitadas, prevenidas, ou amenizadas no estágio de planejamento: proximidade de rotas e instalações de materiais perigosos às concentrações populacionais, instalações sensíveis, e localidades com indústrias de materiais perigosos.

7.2.4. Avaliação de Risco do Transporte de Material Perigoso: Análise de Rota e Gerenciamento de Risco

Outra metodologia para a avaliação de rotas foi estudada por: PIJAWKA, (1985), onde foi desenvolvido um modelo para o gerenciamento de riscos de materiais perigosos onde a vulnerabilidade é um produto da redução do e preparação para o risco. Foram apresentados vários projetos para a avaliação do risco no embarque de materiais perigosos ao longo das principais rotas e estes foram aplicados no estado do Arizona de modo que as rotas de transportes puderam ser avaliadas comparativamente. O tipo e o volume do fluxo foram determinados a partir de uma pesquisa de caminhões comerciais o que permitiu uma análise das probabilidades de acidentes com materiais perigosos para rotas individuais. Utilizando-se distâncias de evacuação para vazamentos químicos, foi definido o fator de risco para a população como sendo um produto multiplicativo das probabilidades de acidentes com materiais perigosos e a população em risco.

Os registros de riscos para rotas individuais refletiram uma interação de quatro variáveis:

- (a) o número de eventos perigosos que ocorreram ao longo da rota,
- (b) probabilidade de acidente com materiais perigosos,
- (c) população em risco e a taxa de risco potencial - um índice composto incorporando a gravidade potencial do acidente, e
- (d) volume de materiais perigosos por classe.

7.2.4.1. Avaliação do Risco do Transporte de Produtos Perigosos

O planejamento de atendimento e o preparo da comunidade devem ser dirigidos ao encontro de riscos em particular. O desenvolvimento de um sistema efetivo de gerenciamento de risco de transporte de produtos perigosos está condicionado ao entendimento da natureza e grau do risco. Conseqüentemente, a avaliação do risco consiste em três atividades vitais: identificação do risco, estimativa do risco, e avaliação das possíveis conseqüências. Quando se considera os riscos impostos pelos acidentes de transporte de produtos perigosos, a identificação inclui o tipo e o volume de produtos perigosos transportado na área sob estudo e, as rotas pelas quais os produtos perigosos são transportados. Por meio da estimativa, a questão que surge é com que frequência pode-se esperar acidentes relacionados com o trânsito ao longo das rotas identificadas. A avaliação das conseqüências refere-se à população em risco devido a um vazamento potencial de produtos perigosos e a natureza do risco.

A avaliação do risco envolve a medida da probabilidade e gravidade de perigo na exposição a um objeto ou evento de risco. A avaliação do risco é uma atividade cientificamente empírica e deve ser distinguida do julgamento de segurança, o que envolve a determinação de aceitabilidade de vários níveis do risco medido, e é uma atividade normativa, subjetiva, ou política. Obtendo-se medidas objetivas ou classificação do risco, o propósito de uma avaliação de risco é fornecer dados científicos empíricos de modo que o processo subjetivo de julgar a segurança relativa de várias opções possa ser efetuado sobre uma base informada.

7.2.4.2. Avaliação do Risco no Transporte de Produtos Perigosos no Arizona

Esta seção do artigo contém uma análise de risco baseada em dados empíricos sobre o transporte de materiais perigosos nas principais rotas de rodovias no Arizona. Ainda, fornece um projeto para a determinação dos riscos no transporte de produtos perigosos onde as comparações dos riscos de rotas alternativas podem ser analisadas. O objetivo é determinar “taxas” de risco para as rotas sob estudo de modo que as rotas de transporte possam ser avaliadas comparativamente.

7.2.4.2.1. Etapas na Análise do Risco

7.2.4.2.1.1. Identificação do Padrão de Produtos Perigosos e Fluxo de Transporte

A identificação de risco é a primeira etapa na avaliação do risco. Os produtos perigosos são identificados por classes de risco e volume transportado pela rota. Os dados baseiam-se em uma amostra de veículos comerciais motorizados em quatro pontos de inspeção ao longo das principais rodovias do Arizona. Dos 4.438 veículos, 263 (5,92%) transportavam produtos perigosos. A próxima etapa é a análise de risco direcionada para o volume total de fluxo de produtos perigosos em cada ponto de inspeção para as 10 maiores rotas no Arizona sobre as quais transportam-se produtos perigosos. O padrão do fluxo baseia-se nas tendências médias anuais e não descrevem alterações nos padrões sazonais, que são substanciais.

7.2.4.2.1.2. Determinação de Quilômetros-Exposição

O estudo forneceu dados sobre o volume total de produtos perigosos em libras por classe de risco. Para a avaliação das probabilidades de acidente, é importante determinar o número total de viagens por classe de risco para rotas individuais. Cada classe de risco impõe perigos particulares para a população que são únicos para aquela classe. Para estimar o número de viagens para cada classe, foi determinado primeiramente o volume transportado de produtos perigosos por veículo para cada classe.

Quilômetros-exposição é determinado como o número total de quilômetros utilizados anualmente por veículos transportando produtos perigosos com base rota por rota. Os fatores de carga por veículo são aplicados ao peso dos produtos perigosos transportados por classe de risco para determinar o número de viagens por classe. Estes

são então somados para uma rota completa. O número de viagens é subseqüentemente multiplicado pelos quilômetros de viagem reais ao longo de rotas individuais para produzir quilômetros-exposição.

7.2.4.2.1.3. Probabilidade de Acidente com Produtos Perigosos

As probabilidades de acidente medem a chance de que um acidente possa ocorrer a um veículo comercial que transporte produtos perigosos em uma rota em particular. Para cada rota, a taxa de acidentes que prevalece (número de acidentes por 1.000 quilômetros-veículo) foi estimada. O número de acidentes com transportadores de produtos perigosos estimado por ano foi obtido multiplicando-se a taxa de acidente pelo número total de quilômetros de exposição do transporte de produtos perigosos em cada rota.

7.2.4.2.1.4. Fator de População em Risco

A avaliação do risco do transporte de produtos perigosos deve não apenas originar a probabilidade de um acidente com produtos perigosos, mas deve estimar o grau de risco para a população em tais eventos. Na verdade, o risco pode ser definido como o produto multiplicativo da probabilidade de um acidente e a exposição populacional caso este realmente ocorra. Consequentemente, a análise de risco utilizou os fatores de avaliação da distância e população em risco que normalmente são afetados por acidentes com produtos químicos. As estimativas de população em risco foram baseadas nas distâncias de evacuação. As distâncias de evacuação para vazamentos de produtos químicos foram determinadas para produtos perigosos a partir do momento que tenha ocorrido sua entrada no meio ambiente. As estimativas de população em ambos os lados da rota e ao longo desta (para se incluir a tráfego de veículos em risco) foram calculadas. O fator de risco populacional é definido como sendo a probabilidade de acidente com produtos perigosos multiplicada pela população em risco para cada rota. Nesta base, as rotas podem ser comparadas e, os riscos calculados.

7.2.4.3. Uso da Graduação de Risco Potencial em Projeto Alternativo de Avaliação de Risco

Um método alternativo para a avaliação dos riscos de transporte envolve o uso da graduação de risco potencial (PHR). A PHR é uma medida do risco potencial imposto pelo transporte de produtos perigosos que utiliza dois fatores de risco: volume de produtos perigosos transportados por classe de risco e distância de evacuação por classe de risco. A PHR é o produto do volume de produtos perigosos transportados ao longo de uma rota e a distância média de evacuação por classe de risco. Os produtos somados para cada rota foram normalizados de modo que se possa fazer comparações com a rota caracterizada pela maior PHR. A principal vantagem da inclusão da PHR em uma metodologia de avaliação de risco é sua capacidade de injetar uma medida mais sensível de gravidade de acidente em qualquer equação de risco. Devido a que a PHR contém um componente que mede a distância mínima principal de evacuação para cada classe de material perigoso como indicador de gravidade de acidente potencial, torna-se possível

considerar o grau de risco imposto pelos tipos de materiais transportados em uma rota em particular como parte de uma avaliação do risco final.

Mas, a PHR é apenas um dos fatores na determinação dos riscos no transporte de produtos perigosos. A análise de riscos para rotas individuais envolve o uso da seguinte equação:

$$R = H \times PHR \times AR \times PR \quad (7.2.4.1)$$

onde

R = a taxa de risco combinado do transporte de produtos perigosos em uma rota individual,

H = o número de acidentes (vazamentos de produtos perigosos) que ocorreram na rota,

AR = a taxa de acidente para a rota, e

PR = a população em risco devido a qualquer vazamento ao longo da rota.

Designou-se uma taxa para cada variável. Baseado nos critérios da Agência de Gerenciamento de Emergência Federal, as variáveis foram consideradas de modo a refletir a importância incompatível que elas possuem na determinação do risco. A variável de população em risco teve mais consideração (multiplicada por 9) devido à importância dada para a proteção da população. Uma consideração relativamente alta (multiplicada por 7) foi dada para a variável de “acidentes”. A variável PHR foi considerada moderadamente (multiplicada por 5) porque a variável em si não mede valores que resultem em acidentes, mas, ao invés disto, fornece uma medida da gravidade de um acidente depois que este ocorre. A variável da “taxa de acidente” recebeu uma consideração moderadamente alta (multiplicada por 6). Uma vez que as taxas das variáveis foram estipuladas, a taxa de risco combinado para cada rota foi obtida.

8. MODELO PROPOSTO

8.1. Justificativa

A preocupação de um transporte seguro é um fator de grande importância no atual contexto, seja ele econômico, social, político ou empresarial.

De um lado há a preocupação com vidas humanas, noutra a preocupação com o lucro, ou seja com a prestação de um serviço ou simplesmente com o valor financeiro da carga a ser transportada.

No nosso trabalho o contexto se volta para o social, preocupamo-nos em empregar metodologias que prestigiem o elemento humano que poderá ser atingido quando da ocorrência de um acidente com carga perigosa.

Neste contexto, então é colocado em primeiro lugar a vida humana, depois a preocupação com o lucro. Por esse motivo escolhemos a metodologia elaborada por DOUGLAS et alii (1990), intitulada “Modelo de Taxa de Acidente com Caminhões para a Determinação de Rotas para Materiais Perigosos”, o qual propõe um modelo revisado para a probabilidade de acidentes a partir das diretrizes de determinação de rotas para materiais perigosos do Departamento de Transportes dos EUA e sua aplicação é ilustrada utilizando-se taxas de acidentes e vazamentos obtidas para substituir os valores padrões existentes.

A escolha do trabalho de Douglas também foi valorizado devido ao fato de que os dados ou, estão disponíveis ou, são facilmente obtidos, já que outras metodologias interessantes foram inviabilizadas porque não foi possível a obtenção dos dados requeridos para a sua aplicação. A aproximação da realidade do estado de Santa Catarina também foi um fator que decidiu na escolha da metodologia. Além do que sua metodologia é de fácil compreensão e utilização, permitindo ainda dispor de algumas alterações que não invalidam o trabalho. Devemos ainda mencionar que tal metodologia pode ser aplicada para a escolha de alternativas de rotas para o transporte de qualquer material.

O contexto em que se encontra o Estado de Santa Catarina é o de corredor para o transporte de produtos perigosos, sendo que a sua produção no referido estado é mínima. Tal contexto deve-se ao fato que o Estado de Santa Catarina fica geograficamente entre pólos consumidores e produtores. Ainda temos o fato que após a abertura do Mercosul o transporte de produtos manufaturados vem aumentando, e dentre esses produtos se encontra a classe dos produtos perigosos.

Portanto a justificativa de nosso trabalho e a adoção da metodologia proposta por Douglas deve-se ao fato de que ela vem ao encontro com a preocupação de buscar alternativas para que o transporte rodoviário de produtos perigosos, ocorra com maior segurança, tanto para a comunidade, como para as empresas transportadoras.

A aplicação conjunta das outras metodologias apresentadas é viável, porém devemos lembrar que o conjunto de dados requeridos precisa de atualização e adaptação e também muitos deles ou são inexistentes, ou não são confiáveis o bastante para que

permitam a sua utilização. Como por exemplo os dados necessários para a aplicação da metodologia apresentada no artigo de RAYMOND et alii (1985) intitulado “Avaliação de Risco e Segurança no Transporte de Materiais Perigosos” no qual o mesmo propõe um projeto para que seja concentrado todo o esforço no transporte em rodovias para simplificar a análise, desenvolvendo assim, um conjunto de situações modelo que levam a um índice de avaliação de segurança comunitária. Este índice é, por sua vez, elaborado a partir de um índice de preparação comunitária e um índice de risco comunitário. Logo para se chegar a esses índices precisamos de dados tais como a proporção de produtos perigosos transportado em determinada região. Esses dados ainda não estão disponíveis no nosso estado, sendo que uma pesquisa está sendo realizada pelo CETREM/SUL afim de obter tais dados e atualizar os poucos já existentes.

Outra metodologia para a avaliação de rotas apresentada foi a estudada por PIJAWKA et alii (1985), em seu artigo é desenvolvido um modelo para o gerenciamento de riscos de materiais perigosos onde a vulnerabilidade é um produto da redução e da preparação para o risco. O tipo e o volume do fluxo são dados necessários para a aplicação desta metodologia e também não estão facilmente disponíveis. PIJAWKA determinou seus dados a partir de uma pesquisa de caminhões comerciais o que permitiu uma análise das probabilidades de acidentes com materiais perigosos para rotas individuais. Para nosso caso este procedimento se torna um impasse pois os dados disponíveis divergiram muito entre si, sendo que até mesmo os registros de órgãos como a FATMA não conferem com o registros das policias federal e estadual.

Diante dessas dificuldades e outras, os registros de dados são bastantes escassos e em alguns casos nulos.

8.2. Metodologia Proposta.

O modelo proposto em nosso trabalho está baseado no artigo dos autores DOUGLAS et alii (1990). Como já citamos os autores do artigo propõem um modelo revisado para a probabilidade de acidentes a partir das diretrizes de determinação de rotas para materiais perigosos do 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.

Devido à dificuldade na obtenção de dados nossa metodologia teve como base os seguintes itens:

- Volume médio diário anual,
- Extensão dos trechos das rodovias,
- Densidade populacional,
- Geometria das rodovias envolvidas,
- Tipo de áreas em que os trechos passavam (urbana e rural), e principalmente
- Números de acidentes com caminhões.

Com esses dados em mãos podemos aplicar a metodologia proposta e, como Douglas, chegar a um risco populacional para cada rota envolvida. Então de posse desse

índice de risco podemos escolher qual rota terá menos impacto sobre a população e, então, decidir qual rota escolher.

Logo, a metodologia proposta fica dividida em três etapas:

1. Determinação das rotas que comporão a malha,
2. Obtenção dos dados necessários para a aplicação da metodologia, ou seja:
 - Frequência dos acidentes ocorridos com caminhões durante o período em questão e, também, se necessário dados sobre a frequência de acidentes no estado.
 - Extensão dos trechos das rodovias em estudo.
 - Densidade populacional por onde passam os trechos das rodovias em questão.
 - Volume médio diário anual de tráfego de caminhões dos trechos de interesse.
3. Processamentos dos dados

O processamento da metodologia será, então, conduzido em uma série de passos que mostraremos a seguir:

8.2.1 Determinação das Rotas que Comporão a Malha

8.2.1.1. Escolha do Ponto de Origem e do Ponto Destino

Inicialmente escolhemos uma malha fechada contendo dois pontos: um sendo a origem o outro o destino, contendo todas as localidades onde as rodovias passarão.

8.2.1.2. Determinação das Rotas.

Após a escolha dos pontos de origem/destino que determinam a malha, determinamos as rotas a serem seguidas, ou seja como o ponto origem será unido com o ponto de destino através de pelos menos duas opções (Rota A e Rota B). Deixar bem claro as rodovias que serão utilizadas

8.2.1.3. Determinação dos Trechos das Rodovias.

Depois da determinação das rotas a serem seguidas, devemos então assinalar os trechos que fazem parte das rodovias das rotas.

Esse é um passo importante, pois precisamos seccionar as rodovias de tal forma que o trabalho de obtenção dos dados aconteça de forma clara e fácil.

8.2.1.4. Classificação dos Trechos pelo Tipo de Área em Rural e Urbana.

Cada trecho das rodovias deve ser classificado pelo tipo de área em rural e urbana, pois assim requer a metodologia idealizada por Douglas (1990), já que as probabilidades e taxas dependem desse fator.

8.2.1.5. Classificação das Rodovias pela Classe.

Pelo mesmo motivo, citado acima, devemos classificar as rodovias pela sua geometria em:

- Rodovias rurais com duas faixas,
- Rodovias rurais com faixas múltiplas sem divisões,
- Rodovias rurais com faixas múltiplas com divisões,
- Ruas urbanas com duas faixas,
- Ruas urbanas com faixas múltiplas sem divisões,
- Ruas urbanas com faixas múltiplas com divisões, e
- Ruas urbanas de mão única.

8.2.2. Obtenção dos Dados

Os dados necessários foram obtidos através dos órgãos que fiscalizam o trânsito ou entidades que estudam o comportamento do mesmo, tais como universidades e empresas que prestam serviços para o governo.

A frequência dos acidentes ocorridos com caminhões durante o período de estudo nas rodovias em questão foi obtido através dos arquivos da Polícia Federal.

No nosso caso a frequência de acidentes com caminhões em nossas rodovias foram obtidas somente das rodovias federais, já que os dados referentes às rodovias estaduais não foram possíveis obtê-los, além do que os dados federais são melhor documentados. Neste caso, para as rodovias estaduais, foi obtido uma estimativa para os trechos, baseados na quantidade de acidentes ocorridos nas rodovias federais, como será explicado mais adiante.

Os dados sobre a extensão dos trechos das rodovias em estudo foram obtidos de várias fontes como DNER, DER/SC, revistas especializadas e trabalhos acadêmicos.

A densidade populacional por onde passam os trechos das rodovias em questão foi obtido dos arquivos do IBGE.

E, finalmente, os dados referente ao volume médio diário anual de tráfego de caminhões dos trechos de interesse, foram obtidos principalmente da pesquisa realizada por Valente (1995) da UFSC, sendo complementados por dados fornecidos pelos órgãos DNER e DER/SC.

8.2.3. Processamentos dos Dados.

Com os dados cadastrados e arquivados, podemos então processá-los e assim obter o Risco Populacional, que é o nosso objetivo. Para tanto, devemos manipulá-los e processá-los para transformá-los nos elementos que nos levarão à efetivação da análise.

Esses elementos são: índices, taxas e probabilidades, os quais denominamos abaixo:

- AC = Frequência anual de acidentes com caminhões por quilômetro da rodovia.
- TAR = Taxa esperada de acidentes com caminhões no trecho da rodovia.
- A_e = Número estimado de acidentes com caminhões no trecho da rodovia.
- TAV = Taxa de vazamento.
- PEQ = Total de pessoas expostas.
- RISCO = População de risco, ou melhor Risco Populacional.

8.2.3.1. Frequência Anual de Acidentes com Caminhões por Quilômetro da Rodovia. (AC)

Para o cálculo da taxa esperada de acidentes com caminhões para cada segmento, teremos de ter a referida frequência de acidentes de acordo com período de estudo e, também, para a extensão total do trecho. Como não foi possível obter a frequência de acidentes no trecho, recomenda-se obter primeiro uma frequência média por quilômetro de toda a rodovia e, então, multiplicá-la pela extensão do trecho.

Logo, a frequência utilizada reflete o número de acidentes por ano de um determinado trecho. Para obtê-la teremos que dispor dos seguintes dados:

- Frequência total de acidentes ocorridos na rodovia,
- Extensão total da rodovia,
- Extensão do trecho, e o
- Período em questão.

Portanto a nossa frequência (AC) de acidentes será dada por:

$$AC = \frac{FA * l}{(N * E)} \quad (8.2.3.1)$$

onde:

AC = Frequência anual de acidentes com caminhões do trecho em questão,
 FA = Frequência total de acidentes com caminhões na rodovia da qual o trecho faz parte, num determinado período de estudo,
 l = Extensão do trecho (km),

N = Período de anos, e
E = Extensão total da via (km).

Para os casos onde não há dados disponíveis de frequência de acidentes anual por quilometragem (AC), será adotada uma AC' obtida da soma de todos os acidentes ocorridos nas rodovias federais que se tenha registro dividido pela extensão dessas federais e, finalmente, multiplicado pela extensão do trecho. Ou, seja, obtemos uma média de acidentes anual por quilômetro das rodovias federais e estimamos a frequência de acidentes dessas rodovias multiplicando a quilometragem do trecho de interesse

Ou seja:

$$AC' = \frac{FA' * l}{(N * E')} \quad (8.2.3.2)$$

onde:

AC' = Frequência anual de acidentes com caminhões do trecho em questão,
FA' = Frequência total de acidentes com caminhões nas rodovias federais do estado em que foi realizado o estudo, num período determinado período de tempo,
l = Extensão do trecho (km),
N = Período de anos, e
E' = Extensão total das federais pesquisadas (km).

O fato desse índice (AC') ser apenas uma estimativa não tem a menor importância, pois a metodologia corrige eventuais desvios através do teste qui-quadrado e da Distribuição de Poisson que estão embutidos na mesma.

8.2.3.2. Taxa Esperada de Acidentes com Caminhões no Trecho da Rodovia. (TAR)

As taxas de acidentes são comumente expressas como o número total de acidentes com caminhões por milhões de veículos (todos os veículos).

Para o nosso trabalho utilizaremos a frequência de acidentes e o TMDA do referido trecho em questão.

Depois de calculada ou estimada as frequências de acidentes dos trechos, calculamos as taxas segundo a metodologia de Douglas (1990), ou seja a nossa taxa esperada de acidentes com caminhões será dada por:

$$TAR = \frac{AC * l * 10^6}{TMDA * l * 365} \quad (8.2.3.3)$$

Que pode ser dada por:

$$TAR = \frac{AC * 10^6}{TMDA * 365} \quad (8.2.3.4)$$

onde:

TAR = Taxa esperada de acidentes com caminhões no segmento da rota (número anual de acidentes por milhão de caminhões),

AC = Frequência anual de acidentes com caminhões no segmento da rota,

TMDA = Volume médio diário anual de caminhões em veículos por dia no segmento de Rota.

l = Extensão do segmento da rota (km).

8.2.3.3. Número Estimado de Acidentes com Caminhões no Trecho da Rodovia. (A_E)

Calculada todas as TAR's para todos os trechos, pode-se utilizar um procedimento estatístico simples, indicado por Douglas (1990), baseado no teste de aproximação da realidade para determinar se a frequência real de acidentes para um segmento de rota em particular é suficientemente maior ou menor que a frequência estimada de acidentes para garantir a substituição das taxas padrão de acidentes com caminhões por taxas de localidades específicas baseadas nas histórias dos acidentes. Tal procedimento é utilizado como segue.

Passo 1: Obter os dados de acidentes com caminhões para um segmento de rota em particular. Os dados de acidentes com caminhões devem cobrir o maior período de tempo possível sem a introdução de efeitos externos causados por alterações de tráfego, geometria, ou operacionais. Tal frequência de acidentes observada é referida como sendo A_o .

Para os casos em que não foi possível observar a frequência de acidentes, foi utilizado o mesmo procedimento adotado para AC, pois a frequência que foi possível obter refere-se a toda a extensão das rodovias, ou seja nesses casos o A_o para cada trecho em questão será dado por:

$$A_o = \frac{FA * l}{E} \quad (8.2.3.5)$$

onde:

A_o = Frequência de acidentes observados no trecho de interesse, com caminhões no período de 4,5 anos,

FA = Frequência de acidentes observados na rodovia inteira, com caminhões num período de quatro anos e meio (92 a junho de 96),

N = Período de anos, no caso 4,5 anos, e

E = Extensão total da via (km),

l = Extensão do trecho (km).

Passo 2: Computar o número estimado de acidentes com caminhões para o mesmo período utilizando as taxas padrão de acidentes com abrangência de todo o sistema. A frequência estimada para os acidentes com caminhões pode ser computada como

$$A_e = \text{TAR} \times \text{TMDA} \times E \times 365 \times N \times 10^{-6} \quad (8.2.3.6)$$

onde

A_e = número total estimado de acidentes com caminhões no período,
 TAR = taxa de acidentes com caminhões estimada (acidentes por quilômetro-veículo),

TMDA = volume médio diário do tráfego de caminhões (veículos por dia),

E = extensão do segmento do trecho (quilômetros), e

N = duração do período de estudo (anos).

Passo 3: Utilizar o procedimento estatístico descrito no 7.2.2.3, ou seja:

Se $A_e \geq 5$, compare os números estimados e observados de acidentes computando a estatística de aproximação como segue:

$$x^2 = \frac{(A_e - A_o)^2}{A_e} \quad (8.2.3.7)$$

onde

x^2 = estatística de aproximação,

A_e = número estimado de acidentes com caminhões, e

A_o = número observado de acidentes com caminhões.

Se $x^2 \leq 4$, a taxa padrão de acidentes abrangendo todo o sistema deve ser utilizada.

Se $x^2 > 4$, neste caso, a taxa de acidente padrão para todo o sistema deve ser substituída por um valor baseado nos dados de localidades específicas, ou seja aplicando a equação 8.2.3.8.

Se $A_e < 5$, utilizar um procedimento alternativo baseado na distribuição Poisson, porque o teste de aproximação da realidade não é aplicável a um volume de amostragem de acidentes tão pequeno. A Tabela Poisson (Tabela 7.3) apresenta os valores críticos a partir da distribuição Poisson para testar a significância das diferenças dos números estimados de acidentes.

Caso A_o exceda o valor crítico dado na Tabela Poisson para o valor conhecido de A_e , então as frequências de acidentes estimadas e observadas diferem significativamente. Nestes casos, a taxa padrão de acidentes para todo o sistema deve ser substituída pela taxa de acidentes de localidade específica, calculada como:

$$TAR = \frac{A_o \times 10^6}{TMDA \times E \times 365 \times N} \quad (8.2.3.8)$$

Se $A_e < 5$, é recomendado que a taxa padrão de acidentes não seja reduzida, porque o volume de amostragem disponível é raramente apropriado para indicar uma taxa real de acidentes menor que o valor estimado.

Logo aplicado a etapa 3, teremos pois, os valores definitivos de TAR.

8.2.3.4. Taxa De Vazamento. (TAV)

A taxa de vazamento é determinada como o produtos da taxa estimada de acidentes com caminhões do trecho, extensão do trecho e pela probabilidade de vazamento de produto perigoso dado a ocorrência de um acidente (aqui foram adotados os índices americanos do DOT, que também foram aplicados na metodologia de Douglas (1990)).

Assim a taxa de vazamento é dada por:

$$TAV = TAR \times P(V/A) \times l \quad (8.2.3.9)$$

onde:

TAV = Taxa de vazamento dada a ocorrência de um acidente com vazamento, (número de acidentes com vazamento por milhão de veículos),

TAR = Taxa estimada de acidentes com caminhões do trecho, (número de acidentes por milhão de veículos),

$P(V/A)$ = Probabilidade de vazamento de produto perigoso dado a ocorrência de um acidente, e

l = Extensão do trecho (km).

8.2.3.5. Total de Pessoas Expostas.(PEQ)

O total de pessoas expostas no trecho é computado como sendo o produto da probabilidade de acidente e o número de pessoas expostas por unidade de extensão, ou seja, o número de pessoas expostas por quilômetro é dado por:

$$PEQ = 2 * Den * z * l \quad (8.2.3.10)$$

onde:

PEQ = Total de pessoas expostas,

Den = Densidade demográfica ao longo do trecho, (número de pessoas por quilômetro quadrado)

z = Largura de zona de impacto, no nosso caso uma largura de 0.805 km de cada lado foi selecionada,

l = Extensão do trecho (km).

8.2.3.6 Risco Populacional.

O risco populacional é calculado individualmente por trecho, pois cada item computado diz respeito a cada quilômetro do trecho em questão. Logo o risco populacional total da rota é a soma de cada risco populacional calculado para cada seção (trecho) da rota.

Finalmente o risco populacional para cada segmento de rota é obtido pela expressão:

$$Risco = (TAV \times PEQ)/l$$

Onde:

Risco = Risco populacional (ac*peças/vei-km)

TAV = Taxa de vazamento (acidente com vazamento/vei),

PEQ = Total de pessoas expostas.

l = Extensão do trecho (km).

O índice do risco populacional indica uma relação entre a taxa de acidentes com vazamento ocorridos com caminhões e a densidade demográfica deste trecho, refletindo o quanto uma determinada comunidade está exposta a acidentes com caminhões transportando material perigoso.

Como podemos calcular o risco populacional para cada trecho, podemos ter uma idéia dos quais trechos de cada rota oferece maior risco. Com isto podemos substituir este trecho por outro alternativo e com isto diminuir o risco.

Podemos, ainda, de posse de todos os índices de risco propor uma rota que seja a mais segura possível, desviando, por exemplo, trechos com comunidades específicas, hospitais, áreas perigosas, etc..

Desta maneira podemos compor diversas rotas para o transporte em questão e, assim, diminuir o risco populacional.

9. APLICAÇÃO

Para a aplicação de nosso trabalho serão propostos 2 exemplos:

O primeiro aplicado a uma malha do estado de Santa Catarina utilizando os dados obtidos na prática.

O segundo será como uma comparação do primeiro, mas serão utilizados dados teóricos obtidos na realidade norte-americana (Califórnia).

9.1. Aplicação da Metodologia com o Uso de Dados Próprios de um Departamento/Estado.

9.1.1 Determinação das Rotas que Comporão a Malha

9.1.1.1. Escolha do Ponto de Origem e do Ponto Destino

Os pontos escolhidos como origem e destino foram:

Origem: Lages

Destino: Itajaí

E resultando como malha:

Malha: LAGES, BR-282 (ÍNDIOS), BR-282 (PALHOÇA), BR-101 (ITAJAÍ), BR-470 (cruzamento com SC-425), SC-425 (cruzamento com BR-282 (ÍNDIOS)), LAGES.

9.1.1.2. Determinação das Rotas.

As rotas ficaram assim determinadas:

ROTA 1: Lages Via BR-282 E BR-101 Itajaí

Cidades: Lages, Índios, Bocaina Do Sul, Bom Retiro, Alfredo Wagner, São Leonardo, Rancho Queimado, Águas Mornas, Santo Amaro Da Imperatriz, Palhoça, São José, Barreiros, Campinas, Biguaçu, Guaporanga, Tijucas, Itapema, Balneário Camboriu, Camboriu, Itajaí.

Rodovias da rota 1: BR-282, SCT-282, BR-101, SC-470.

ROTA 2: Lages Via BR-282, SC-425 E BR-470 Itajaí

Cidades: Lages, Índios, Otacílio Costa, Pouso Redondo, Aterrado Torto, Trombudo Central, Agrônômica, Rio Do Sul, Ibirama, Apiúna, Ascurra, Rodeio, Indaial, Blumenau, Gaspar, Ilhota, Itajaí.

Rodovias da rota 2: BR-282, SC-425, BR-470, SC-470

9.1.1.3. Determinação dos Trechos das Rodovias.

A distribuição dos trechos que fazem parte das rodovias das rotas é mostrado na 9.1.

Tabela 9.1: Distribuição dos trechos das rodovias

ROTA 1			ROTA 2		
ROD	TRECHO	FIM	ROD	TRECHO	FIM
	COMEÇO			COMEÇO	
BR-282	LAGES	SC-438	BR-282	LAGES	SC-438
BR-282	SC-438	SC-425	BR-282	SC-438	ÍNDIOS
BR-282	SC-425	SC-427	SC-425	ÍNDIOS	OTACÍLIO C.
BR-282	SC-427	SC-430	SC-425	OTACÍLIO C.	ENT BR-470
BR-282	SC-430	B. RETIRO	BR-470	SC-425	MIRIM DOCE
BR-282	B. RETIRO	A. WAGNER	BR-470	MIRIM DOCE	SC-422
BR-282	A. WAGNER	RANCHO Q.	BR-470	SC-422	P. REDONDO
BR-282	RANCHO Q.	SC-431	BR-470	P. REDONDO	T. CENTRAL
BR-282	SC-431	ÁGUAS M.	BR-470	T. CENTRAL	AGRÔNÔMICA
BR-282	ÁGUAS M.	ENT S.AMARO	BR-470	AGRÔNÔMICA	LAURENTINO
BR-282	ENT S.AMARO	SC-282	BR-470	LAURENTINO	RIO DO SUL
SC-282	BR-282	BR-101	BR-470	RIO DO SUL	SC-474
BR-101	SC-282	FPOLIS	SC-470	SC-474	GASPAR
BR-101	FPOLIS	SC-408	SC-470	GASPAR	ILHOTA
BR-101	SC-408	SC-410	SC-470	ILHOTA	BR-101
BR-101	SC-410	SC-411	SC-470	BR-101	ITAJAÍ
BR-101	SC-411	SC-412			
BR-101	SC-412	BR-486			
BR-101	BR-486	SC-470			
SC-470	BR-101	ITAJAÍ			

9.1.1.4. Classificação dos Trechos pelo Tipo de Área em Rural e Urbana.

A classificação de cada trecho das rodovias pelo tipo de área rural ou urbana é mostrado na Tabela 9.2.

Tabela 9.2: Classificação dos trechos segundo o tipo de área em urbana e rural

ROTA	TRECHO	FIM	TIPO
	COMEÇO		
1	LAGES	ÍNDIOS	RURAL
1	ÍNDIOS	ENT. SCT-282	RURAL
1	ENT. SCT-282	ENT. BR-101	URBANO
1	ENT. BR-101	ENT. SC-470	RURAL
1	ENT. SC-470	ITAJAÍ	RURAL
2	ÍNDIOS	ENT. BR-470	RURAL
2	ENT. BR-470	AC GASPAR	RURAL
2	AC. GASPAR	ITAJAÍ	RURAL

9.1.1.5. Classificação das Rodovias pela Classe.

A classificação das rodovias segundo a sua geometria é mostrada na Tabela 9.3.

Tabela 9.3: Classificação das rodovias pela classe de geometria.

ROTA	TRECHO		CLASSES
	COMEÇO	FIM	
1	LAGES	ÍNDIOS	RURAL COM FAIXAS MÚLTIPLAS SEM DIVISÕES
1	ÍNDIOS	ENT. SCT-282	RURAL COM FAIXAS MÚLTIPLAS SEM DIVISÕES
1	ENT. SCT-282	ENT. BR-101	URBANA COM FAIXAS MÚLTIPLAS SEM DIVISÕES
1	ENT. BR-101	ENT. SC-470	RURAL COM FAIXAS MÚLTIPLAS SEM DIVISÕES
1	ENT-SC-470	ITAJAÍ	RURAL COM FAIXAS MÚLTIPLAS SEM DIVISÕES
2	LAGES	ÍNDIOS	RURAL COM FAIXAS MÚLTIPLAS SEM DIVISÕES
2	ÍNDIOS	ENT BR-470	RURAL COM FAIXAS MÚLTIPLAS SEM DIVISÕES
2	ENT BR-470	AC. GASPARG	RURAL COM FAIXAS MÚLTIPLAS SEM DIVISÕES
2	AC. GASPARG	ITAJAÍ	RURAL COM FAIXAS MÚLTIPLAS SEM DIVISÕES

9.1.2. Obtenção dos Dados

Como foi mencionado no item 8.2.2 os dados necessários são obtidos através dos órgãos que fiscalizam o trânsito ou entidades que estudam o comportamento do mesmo, tais como universidades e empresas que prestam serviços para o governo.

Os volumes médios diários anuais (TMDA) e as extensões dos trechos são mostrados na Tabela 9.4

As frequências dos acidentes para o período de estudo são mostradas na Tabela 9.5

As densidades demográficas para os trechos são mostrados na Tabela 9.6

9.1.3. Processamentos dos Dados.

Com os dados cadastrados e arquivados, podemos então processá-los e assim obter o Risco Populacional, que é o nosso objetivo. Para tanto devemos processá-los a fim de obter alguns índices, taxas e probabilidades para que possamos compor o nosso Risco Populacional.

Todos os resultados dos cálculos são mostrados nas Tabelas 9.7 (rota 1) e 9.8 (rota 2), ambas com a comparação das taxas de acidentes com caminhões utilizando o teste de aproximação, e Tabela 9.9 (rota 1) e 9.10 (rota 2) com a avaliação de risco para a determinação de rotas de materiais perigosos utilizando o método FHWA revisado.

Tabela 9.4: Volumes médios diários anuais por trecho e suas respectivas extensões.

DADOS PROJETADOS PELAS TAXAS GEOMÉTRICAS ADOTADAS POR AMIR/94(*) E DNER/96(**).									
FONTE	ROD	TRECHO	FIM	EXT	TMDA DE CAMINHÕES(veículo/dia)				TMDA
					ônibus	c. simples	c. duplo	reboque	
AMIR/94*	BR-282	LAGES	SC-438	5	113	733	840	696	2381
DNER/95*	BR-282	SC-438	SC-425	7	0	559	488	261	1308
DER/96	BR-282	SC-425	SC-427	43	47	243	317	184	791
AMIR/94*	BR-282	SC-427	SC-430	28	15	99	32	11	158
DER/96	BR-282	SC-430	B. RETIRO	10	40	208	184	86	518
DER/96	BR-282	B. RETIRO	A. WAGNER	25	44	198	202	85	529
AMIR/94*	BR-282	A. WAGNER	RANCHO Q.	47	24	183	54	13	273
AMIR/94*	BR-282	RANCHO Q.	SC-431	16	29	200	60	15	305
AMIR/94*	BR-282	SC-431	ÁGUAS M.	10	54	273	88	9	424
AMIR/94*	BR-282	ÁGUAS M.	ENT S.AMARO	11	81	174	54	6	316
AMIR/94*	BR-282	ENT S.AMARO	SC-282	12	180	913	293	31	1417
AMIR/94*	SC-282	BR-282	BR-101	10	1292	0	201	95	1589
DNER/95**	BR-101	SC-282	FPOLIS	11	0	1592	2423	2735	6750
DNER/95**	BR-101	FPOLIS	SC-408	14	0	2715	3620	4977	11313
DNER/95**	BR-101	SC-408	SC-410	12	0	2310	3079	4233	9622
DNER/95**	BR-101	SC-410	SC-411	19	0	1903	2538	3489	7930
DNER/95**	BR-101	SC-411	SC-412	6	0	2553	2723	2894	8170
DNER/95**	BR-101	SC-412	BR-486	32	0	2728	2910	3092	8730
DNER/95**	BR-101	BR-486	SC-470	9	0	3167	3378	3589	10134
AMIR/94*	SC-470	BR-101	ITAJAÍ	6	557	1408	2079	2209	6253
DER/96	SC-425	ÍNDIOS	OTACÍLIO C.	33	67	201	320	196	784
DER/96	SC-425	OTACÍLIO C.	ENT BR-470	25	32	197	596	216	1041
AMIR/94*	BR-470	SC-425	MIRIM DOCE	14	126	602	1308	535	2572
AMIR/94*	BR-470	MIRIM DOCE	SC-422	8	126	602	1308	535	2572
AMIR/94*	BR-470	SC-422	P. REDONDO	3	126	602	1308	535	2572
AMIR/94*	BR-470	P. REDONDO	T. CENTRAL	16	154	735	722	204	1815
AMIR/94*	BR-470	T. CENTRAL	AGRONÔMICA	8	198	740	727	204	1868
AMIR/94*	BR-470	AGRONÔMICA	LAURENTINO	2	215	770	756	211	1952
AMIR/94*	BR-470	LAURENTINO	RIO DO SUL	8	202	695	683	191	1770
DER/96	BR-470	RIO DO SUL	SC-474	90	67	1021	1178	546	2812
DNER/96	SC-470	SC-474	GASPAR	20	361	2503	1437	558	4859
AMIR/94*	SC-470	GASPAR	ILHOTA	14,0	404	871	849	513	2637
AMIR/94*	SC-470	ILHOTA	BR-101	16,0	334	721	703	426	2184
AMIR/94*	SC-470	BR-101	ITAJAÍ	6	557	1408	2079	2209	6253

Tabela 9.5: Frequência de Acidentes

PERÍODO	RODOVIA	FREQUÊNCIA DE ACIDENTES				soma dos caminhões	todos os tipos de veículos	carga perigosa
		ônibus	c. simples	c. duplo	reboque			
92-06/96	BR-101	1004	2514	5172	2164	10854	33241	77
92-06/96	BR-116	87	299	891	561	1838	3698	9
92-06/96	BR-153	16	70	174	169	429	947	2
92-06/96	BR-158	11	23	31	19	84	245	0
92-06/96	BR-280	76	254	338	103	771	3903	4
92-06/96	BR-282	134	500	593	262	1489	5714	12
92-06/96	BR-470	228	658	955	275	2116	9346	12
92-06/96		1556	4318	8154	3553	17581	57094	116

Fonte: Polícia Rodoviária Federal

Tabela 9.6: Densidade demográfica dos trechos.

ROD	TRECHO		População Projetada para 1996	Área (km2)	Densidade demográfica
	COMEÇO	FIM			
BR-282	LAGES	SC-438	159616	5297,30	30,13
BR-282	SC-438	SC-425	159616	5297,30	30,13
BR-282	SC-425	SC-427	159616	5297,30	30,13
BR-282	SC-427	SC-430	166514	6362,90	26,17
BR-282	SC-430	B. RETIRO	6898	1065,60	6,47
BR-282	B. RETIRO	A. WAGNER	16852	1799,00	9,37
BR-282	A. WAGNER	RANCHO Q.	12212	1003,60	12,17
BR-282	RANCHO Q.	SC-431	6864	598,10	11,48
BR-282	SC-431	A. MORNAS	4606	327,90	14,05
BR-282	A. MORNAS	ENT S. AMARO	18970	680,90	27,86
BR-282	ENT S. AMARO	SCT-282	14364	353,00	40,69
SCT282	BR-282	BR-101	84003	322,70	260,31
BR-101	SC-282/BR-101	FPOLIS	250044	578,60	432,15
BR-101	FPOLIS	SC-408	206602	558,80	369,72
BR-101	SC-408	SC-410	40561	302,90	133,91
BR-101	SC-410	SC-411	73388	686,80	106,85
BR-101	SC-411	SC-412	35540	372,70	95,36
BR-101	SC-412	BR-486	246726	714,40	345,36
BR-101	BR-486	SC-470	136843	303,60	450,73
SC-470	BR-101	ITAJAÍ	136843	303,60	450,73
SC-425	ÍNDIOS	O. COSTA	176916	6513,00	27,16
SC-425	O. COSTA	ENT BR-470	17300	1215,70	14,23
BR-470	SC-425	MIRIM DOCE	11760	363,90	32,32
BR-470	MIRIM DOCE	SC-422	11760	363,90	32,32
BR-470	SC-422	P. REDONDO	11760	363,90	32,32
BR-470	P. REDONDO	T. CENTRAL	20709	465,50	44,49
BR-470	T. CENTRAL	AGRONÔMICA	12308	218,30	56,38
BR-470	AGRONÔMICA	LAURENTINO	7827	184,60	42,40
BR-470	LAURENTINO	RIO DO SUL	55028	329,10	167,21
BR-470	RIO DO SUL	SC-474	371675	2409,60	154,25
SC-470	SC-474	GASPAR	280999	879,60	319,46
SC-470	GASPAR	ILHOTA	50965	615,00	82,87
SC-470	ILHOTA	BR-101	147004	548,80	267,86

Fonte IBGE

Tabela 9.7 Comparação das taxas de acidentes com caminhões utilizando o teste de aproximação para

ROD	TRECHO		Tipo de Rota	Tipo de Via ¹	EXT. (km)	TMDA (veí/dia)	FA	AC	TAR	A0	AE	Qui-quadrad o (χ^2)
	COMEÇO	FIM										
BR-282	LAGES	SC-438	RURAL	TIPO A	5	2381	1489	3	0,58	47	9	163,98
BR-282	SC-438	SC-425	RURAL	TIPO A	7	1308	1489	4	1,06	19	12	3,49
BR-282	SC-425	SC-427	RURAL	TIPO A	43	791	1489	22	1,76	45	76	12,81
BR-282	SC-427	SC-430	RURAL	TIPO A	28	158	1489	14	8,81	12	50	28,56
BR-282	SC-430	B. RETIRO	RURAL	TIPO A	10	518	1489	5	2,68	1	18	15,79
BR-282	B. RETIRO	A. WAGNER	RURAL	TIPO A	25	529	1489	13	2,62	6	44	33,15
BR-282	A. WAGNER	RANCHO Q.	RURAL	TIPO A	47	273	1489	24	5,09	6	83	71,79
BR-282	RANCHO Q.	SC-431	RURAL	TIPO A	16	305	1489	8	4,56	5	28	19,26
BR-282	SC-431	ÁGUAS MORNAS	RURAL	TIPO A	10	424	1489	5	3,27	19	18	0,10
BR-282	ÁGUAS MORNAS	ENT S.AMARO	RURAL	TIPO A	11	316	1489	6	4,40	21	20	0,10
BR-282	ENT S.AMARO	SCT-282	RURAL	TIPO A	12	1417	1489	6	0,98	23	21	0,11
SCT282	BR-282	BR-101	URBA	TIPO A	10	1589	17581	18	3,05	65	62	0,13
BR-101	SC-282/BR-101	FPOLIS	RURAL	TIPO A	11	6750	10854	57	2,11	509	200	479,03
BR-101	FPOLIS	SC-408	RURAL	TIPO A	14	11313	10854	73	1,26	742	254	936,31
BR-101	SC-408	SC-410	RURAL	TIPO A	12	9622	10854	62	1,48	335	218	62,99
BR-101	SC-410	TIJUCAS	RURAL	TIPO A	19	7930	10854	99	1,79	176	345	82,74
BR-101	TIJUCAS	SC-412	RURAL	TIPO A	6	8170	10854	31	1,74	153	109	17,83
BR-101	SC-412	BR-486	RURAL	TIPO A	32	8730	10854	166	1,63	811	581	91,09
BR-101	BR-486	SC-470	RURAL	TIPO A	9	10134	10854	47	1,40	149	163	1,27
SC-470	BR-101	ITAJAÍ	RURAL	TIPO A	6	6253	17581	11	0,77	39	37	0,08

Tabela 9.8 Comparação das taxas de acidentes com caminhões utilizando o teste de aproximação para

ROD	TRECHO		Tipo de Rota	Tipo de Via ¹	EXT. (km)	TMDA (vei/dia)	FA	AC	TAR	A0	AE	Qui-quadrado (χ^2)
	COMEÇO	FIM										
BR-282	LAGES	SC-438	RURAL	TIPO A	5	2381	1489	3	0,58	47	9	163,98
SC-425	ÍNDIOS	OTACÍLIO COSTA	RURAL	TIPO A	33	784	17581	58	6,17	214	204	0,44
SC-425	OTACÍLIO COSTA	ENT BR-470	RURAL	TIPO A	25	1041	17581	44	4,65	162	155	0,34
BR-470	SC-425	MIRIM DOCE	RURAL	TIPO A	14	2572	2116	19	1,42	113	65	34,53
BR-470	MIRIM DOCE	SC-422	RURAL	TIPO A	8	2572	2116	11	1,42	26	37	3,48
BR-470	SC-422	P. RED.	RURAL	TIPO A	3	2572	2116	4	1,42	26	14	10,22
BR-470	P. REDONDO	T. CENTRAL	RURAL	TIPO A	16	1815	2116	21	2,02	69	75	0,45
BR-470	T. CENTRAL	AGRONÔMICA	RURAL	TIPO A	8	1868	2116	11	1,96	38	37	0,01
BR-470	AGRONÔMICA	LAURENTINO	RURAL	TIPO A	2	1952	2116	3	1,87	15	9	3,41
BR-470	LAURENTINO	RIO DO SUL	RURAL	TIPO A	8	1770	2116	11	2,07	111	37	144,81
BR-470	RIO D SUL	SC-474	RURAL	TIPO A	90	2812	2116	120	1,30	793	421	329,22
SC-470	SC-474	GASPAR	RURAL	TIPO A	20	4859	17581	35	1,00	129	124	0,27
SC-470	GASPAR	ILHOTA	RURAL	TIPO A	14,0	2637	17581	25	1,83	91	87	0,19
SC-470	ILHOTA	BR-101	RURAL	TIPO A	16,0	2184	17581	28	2,22	104	99	0,21
SC-470	BR-101	ITAJAI	RURAL	TIPO A	6	6253	17581	11	0,77	39	37	0,08

Tabela 9.9 Avaliação de risco para a determinação de rotas de materiais perigosos utilizando o método FHWA revisado para a rota 1.

ROD	TRECHO		TAR	P(V/A)	EXT.	TAV	Den	z	PEQ	PEQ/ EXT	Risco
	COMEÇO	FIM									
BR-282	LAGES	SC-438	3,09	0,082	5	1,27	30,13	0,805	243	48,51	61,4
BR-282	SC-438	SC-425	1,06	0,082	7	0,61	30,13	0,805	340	48,51	29,5
BR-282	SC-425	SC-427	1,04	0,082	43	3,65	30,13	0,805	2086	48,51	177,1
BR-282	SC-427	SC-430	2,13	0,082	28	4,89	26,17	0,805	1180	42,13	206,0
BR-282	SC-430	B.RETIRO	0,15	0,082	10	0,12	6,47	0,805	104	10,42	1,2
BR-282	B. RETIRO	A. WAGNER	0,36	0,082	25	0,73	9,37	0,805	377	15,08	10,9
BR-282	A. WAGNER	RANCHO Q.	0,37	0,082	47	1,41	12,17	0,805	921	19,59	27,6
BR-282	RANCHO Q.	SC-431	0,80	0,082	16	1,05	11,48	0,805	296	18,48	19,4
BR-282	SC-431	ÁGUAS MORNAS	3,27	0,082	10	2,68	14,05	0,805	226	22,62	60,6
BR-282	ÁGUAS MORNAS	ENT S.AMARO	4,40	0,082	11	3,97	27,86	0,805	493	44,85	177,9
BR-282	ENT S.AMARO	SCT-282	0,98	0,082	12	0,96	40,69	0,805	786	65,51	63,1
SCT282	BR-282	BR-101	3,05	0,055	10	1,68	260,31	0,805	4191	419,10	702,1
BR-101	SC-282/BR- 101	FPOLIS	5,37	0,082	11	4,84	432,15	0,805	7653	695,77	3.367,5
BR-101	FPOLIS	SC-408	3,67	0,082	14	4,21	369,72	0,805	8334	595,26	2.506,0
BR-101	SC-408	SC-410	2,27	0,082	12	2,23	133,91	0,805	2587	215,59	481,7
BR-101	SC-410	TIJUCAS	0,91	0,082	19	1,42	106,85	0,805	3269	172,04	245,0
BR-101	TIJUCAS	SC-412	2,44	0,082	6	1,20	95,36	0,805	921	153,53	184,5
BR-101	SC-412	BR-486	2,27	0,082	32	5,96	345,36	0,805	17793	556,03	3.315,6
BR-101	BR-486	SC-470	1,40	0,082	9	1,03	450,73	0,805	6531	725,68	749,7
SC-470	BR-101	ITAJAÍ	0,77	0,082	6	0,38	450,73	0,805	4354	725,68	274,9
									RISCO TOTAL		12.662,7

Tabela 9.10 Avaliação de risco para a determinação de rotas de materiais perigosos utilizando o FHWA revisado para a rota 2.

ROD	TRECHO		TAR	P(V/A)	EXT (km)	TAV	Den	z	PEQ	PEQ/ EXT	Risco
	COMEÇO	FIM									
BR-282	LAGES	SC-438	3,09	0,082	5	1,27	30,13	0,805	243	48,51	6
SC-425	ÍNDIOS	OTACÍLIO COSTA	6,17	0,082	33	16,70	27,16	0,805	1443	43,73	73
SC-425	OTACÍLIO COSTA	ENT BR-470	4,65	0,082	25	9,53	14,23	0,805	573	22,91	21
BR-470	ENT BR-470	AC MIRIM DOCE	2,46	0,082	14	2,82	32,32	0,805	728	52,03	14
BR-470	AC MIRIM DOCE	SC-422	1,42	0,082	8	0,93	32,32	0,805	416	52,03	4
BR-470	SC-422	P. REDONDO	2,64	0,082	3	0,65	32,32	0,805	156	52,03	3
BR-470	P. REDONDO	T. CENTRAL	2,02	0,082	16	2,65	44,49	0,805	1146	71,63	18
BR-470	T. CENTRAL	AGRÔNÔMICA	1,96	0,082	8	1,29	56,38	0,805	726	90,77	11
BR-470	AGRÔNÔMICA	AC LAURENTINO	1,87	0,082	2	0,31	42,40	0,805	137	68,26	2
BR-470	AC LAURENTINO	RIO DO SUL	6,14	0,082	8	4,03	167,21	0,805	2154	269,20	1.08
BR-470	RIO DO SUL	SC-474	2,45	0,082	90	18,10	154,25	0,805	22350	248,34	4.49
SC-470	SC-474	GASPAR	1,00	0,082	20	1,64	319,46	0,805	10287	514,33	84
SC-470	GASPAR	ILHOTA	1,83	0,082	14,0	2,10	82,87	0,805	1868	133,42	28
SC-470	ILHOTA	BR-101	2,22	0,082	16,0	2,91	267,86	0,805	6900	431,26	1.25
SC-470	BR-101	ITAJAÍ	0,77	0,082	6	0,38	450,73	0,805	4354	725,68	27
										RISCO TOTAL	9.80

9.1.4 Modelo Aplicado com Dados Teóricos da Realidade Norte-Americana

Neste caso usamos o mesmo trecho e os mesmos dados de TMDA, densidade demográfica e frequência de acidentes, apenas empregamos diretamente a TAR obtida por Douglas (1990). Assim obtemos as Tabela 9.9, para a rota 1, e 910 para a rota 2.

9.1.5 Discussão dos Resultados

Sendo nosso risco populacional uma relação entre os fatores número de acidentes com vazamento e o número de pessoas ao longo do trecho por veículo e por quilômetro. Ele exprime o quanto uma população está exposta a um acidente com vazamento com veículo transportando material perigoso.

Este índice de risco é expresso pelo número de acidentes vezes o número de pessoas por veículo e por quilômetro, e que de agora em diante será denominado de unidade de risco e abreviado por (ur); compara o quanto um determinado trecho oferece de risco a uma população, levando em conta o número de acidentes com vazamento com caminhões transportando produtos perigosos ocorrido no trecho.

Como esse índice depende da extensão, população envolvida, taxa de acidentes de cada trecho, fica difícil dizer o quanto ele é seguro. O que podemos avaliar é se o trecho em questão oferece menos ou mais risco que outro trecho da malha estudada.

Como alternativa poderíamos estipular uma taxa de acidentes mínima para cada tipo de trecho e comparar com o índice obtido, o que este trabalho não fez por entender que sendo o seu objetivo apenas o de propor uma metodologia de comparação entre duas rotas distintas, sem se aprofundar na questão de quanto um determinado trecho é mais ou menos seguro que um determinado “padrão”, e sim compará-lo a outros trechos da própria malha que os mesmos estão inseridos.

Após a aplicação da metodologia para ambos os casos, vemos que a diferença de risco obtida entre ambos é pequena (31,90 % para o caso brasileiro e 29,55 % para o caso norte-americano). Isto, deve-se principalmente ao fato das duas alternativas, de modo geral, apresentarem características bastante semelhantes: ambas oferecerem taxas de riscos bastantes próximas.

O que difere uma da outra são trechos que apresentam alta taxa de risco, chegando em alguns casos a 30 % do risco total, como por exemplo os trechos da rota 1: entre SC-282 e Florianópolis (3.367,52 ur), Florianópolis e SC-408 (2.506,06 ur), SC-412 e BR-486 (3.315,69 ur).

Já a rota 2 apresenta poucos trechos com valores altos. O único que se sobressai é o trecho entre Rio do Sul e SC-474 com risco de 4.495,26 ur, o que representa 45,87 % do risco total da rota 2 (9.800,12 ur)

Tabela 9.11 Comparação das taxas de acidentes com caminhões utilizando o teste de aproximação pa
teóricos em condições norte-americanas para a rota 1

ROD	TRECHO		Tipo de Rota	Tipo de Via ¹	EXT (km)	TMDA (veí/dia)	TAR	A0	AE	X2	x
	COMEÇO	FIM									
BR-282	LAGES	SC-438	RURAL	TIPO A	5	2381	1,73	47	26	16,26	
BR-282	SC-438	SC-425	RURAL	TIPO A	7	1308	1,73	19	20	0,07	
BR-282	SC-425	SC-427	RURAL	TIPO A	43	791	1,73	45	75	12,11	
BR-282	SC-427	SC-430	RURAL	TIPO A	28	158	1,73	12	10	0,52	
BR-282	SC-430	B. RETIRO	RURAL	TIPO A	10	518	1,73	1	11	9,54	
BR-282	B. RETIRO	A. WAGNER	RURAL	TIPO A	25	529	1,73	6	29	18,46	
BR-282	A. WAGNER	RANCHO Q.	RURAL	TIPO A	47	273	1,73	6	28	17,62	
BR-282	RANCHO Q.	SC-431	RURAL	TIPO A	16	305	1,73	5	11	3,09	
BR-282	SC-431	ÁGUAS M.	RURAL	TIPO A	10	424	1,73	19	9	9,95	
BR-282	ÁGUAS MORNA	ENT S.AMARO	RURAL	TIPO A	11	316	1,73	21	8	22,92	
BR-282	ENT S.AMARO	SCT-282	RURAL	TIPO A	12	1417	1,73	23	38	5,78	
SCT282	BR-282	BR-101	URBANO	TIPO A	10	1589	4,23	65	86	5,21	
BR-101	SC-282/BR-101	FPOLIS	RURAL	TIPO A	11	6750	173	509	164	724,85	
BR-101	FPOLIS	SC-408	RURAL	TIPO A	14	11313	1,73	742	350	438,94	
BR-101	SC-408	SC-410	RURAL	TIPO A	12	9622	1,73	335	255	24,96	
BR-101	SC-410	TIJUCAS-	RURAL	TIPO A	19	7930	1,73	176	333	74,01	
BR-101	TIJUCAS-	SC-412	RURAL	TIPO A	6	8170	1,73	153	108	18,41	
BR-101	SC-412	BR-486	RURAL	TIPO A	32	8730	1,73	811	617	60,72	
BR-101	BR-486	SC-470	RURAL	TIPO A	9	10134	1,73	149	202	13,71	
SC-470	BR-101	ITAJAÍ	RURAL	TIPO A	6	6253	1,73	39	83	23,45	

Tabela 9.12 Comparação das taxas de acidentes com caminhões utilizando o teste de aproximação pa teóricos em condições norte-americanas para a rota 2

ROD	TRECHO		Tipo de Rota	Tipo de Via ¹	EXT (km)	TMDA (veí/dia)	TAR	A0	AE	X2	x2
	COMEÇO	FIM									
BR-282	LAGES	SC-438	RURAL	TIPO A	5	2381	1,73	47	26	16,26	
SC-425	ÍNDIOS	OTACÍLIO COS	RURAL	TIPO A	33	784	1,73	214	57	427,37	
SC-425	OTACÍLIO COS	ENT BR-470	RURAL	TIPO A	25	1041	1,73	162	58	188,86	
BR-470	SC-425	MIRIM DOCE	RURAL	TIPO A	14	2572	1,73	113	80	14,04	
BR-470	MIRIM DOCE	SC-422	RURAL	TIPO A	8	2572	1,73	26	45	8,34	
BR-470	SC-422	P. REDONDO	RURAL	TIPO A	3	2572	1,73	26	17	4,70	
BR-470	P. REDONDO	T. CENTRAL	RURAL	TIPO A	16	1815	1,73	69	64	0,36	I
BR-470	T. CENTRAL	AGRONÔMICA	RURAL	TIPO A	8	1868	1,73	38	33	0,75	I
BR-470	AGRONÔMICA	LAURENTINO	RURAL	TIPO A	2	1952	1,73	15	9	4,71	
BR-470	LAURENTINO	RIO DO SUL	RURAL	TIPO A	8	1770	1,73	111	31	202,98	
BR-470	RIO DO SUL	SC-474	RURAL	TIPO A	90	2812	1,73	793	559	97,62	
SC-470	SC-474	GASPAR	RURAL	TIPO A	20	4859	1,73	129	215	33,94	
SC-470	GASPAR	ILHOTA	RURAL	TIPO A	14,0	2637	1,73	91	82	0,99	I
SC-470	ILHOTA	BR-101	RURAL	TIPO A	16,0	2184	1,73	104	77	8,95	
SC-470	BR-101	ITAJAÍ	RURAL	TIPO A	6	6253	1,73	39	83	23,45	

Tabela 9.13: Avaliação de risco para a determinação de rotas de materiais perigosos utilizando o FHWA revisado para os dados teóricos em condições norte-americanas, para a rota 1.

ROD	TRECHO		TAR	P(V/A)	EXT.	TAV	Den	z	PEQ	PEQ/ EXT
	COMEÇO	FIM								
BR-282	LAGES	SC-438	3,09	0,086	5	1,33	30,13	0,805	243	48,51
BR-282	SC-438	SC-425	1,73	0,086	7	1,04	30,13	0,805	340	48,51
BR-282	SC-425	SC-427	1,04	0,086	43	3,83	30,13	0,805	2086	48,51
BR-282	SC-427	SC-430	1,73	0,086	28	4,17	26,17	0,805	1180	42,13
BR-282	SC-430	B. RETIRO	0,15	0,086	10	0,13	6,47	0,805	104	10,42
BR-282	B. RETIRO	A. WAGNER	0,36	0,086	25	0,76	9,37	0,805	377	15,08
BR-282	A. WAGNER	RANCHO Q.	0,37	0,086	47	1,48	12,17	0,805	921	19,59
BR-282	RANCHO Q.	SC-431	1,73	0,086	16	2,38	11,48	0,805	296	18,48
BR-282	SC-431	ÁGUAS MORNAS	3,51	0,086	10	3,02	14,05	0,805	226	22,62
BR-282	ÁGUAS MORNAS	ENT S.AMARO	4,72	0,086	11	4,46	27,86	0,805	493	44,85
BR-282	ENT S.AMARO	SCT-282	1,05	0,086	12	1,09	40,69	0,805	786	65,51
SCT282	BR-282	BR-101	3,19	0,069	10	2,20	260,31	0,805	4191	419,10
BR-101	SC-282/BR-101	FPOLIS	5,37	0,086	11	5,08	432,15	0,805	7653	695,77
BR-101	FPOLIS	SC-408	3,67	0,086	14	4,42	369,72	0,805	8334	595,26
BR-101	SC-408	SC-410	2,27	0,086	12	2,34	133,91	0,805	2587	215,59
BR-101	SC-410	TIJUCAS-	0,91	0,086	19	1,49	106,85	0,805	3269	172,04
BR-101	TIJUCAS	SC-412	2,44	0,086	6	1,26	95,36	0,805	921	153,53
BR-101	SC-412	BR-486	2,27	0,086	32	6,25	345,36	0,805	17793	556,03
BR-101	BR-486	SC-470	1,28	0,086	9	0,99	450,73	0,805	6531	725,68
SC-470	BR-101	ITAJAÍ	0,81	0,086	6	0,42	450,73	0,805	4354	725,68
										RISCO TOTAL

A distribuição da população das duas rotas apresentam picos muito elevados, em alguns casos como a distribuição da população em volta da rodovia BR-101 e na BR-470.

Os acidentes com vazamento nas duas rotas têm uma estreita relação com o estado de conservação das rodovias, pois é óbvio que o número de acidentes com veículos aumenta devido a má conservação da estrada, aumentando também a taxa de acidentes com vazamento de produtos perigosos.

Logo, para ambos os casos, o brasileiro e o teórico norte-americano, os resultados apontam como melhor alternativa a rota 2. Por isso a rota 2 seria a preferida se fatores qualitativos e subjetivos não afetassem a escolha. Outros fatores como : populações especiais, propriedades especiais, e capacidades de atendimento à emergências, também poderiam afetar a escolha.

Outro critério a ser levado em consideração poderia ser a extensão total das rotas; o que deixaria a rota 2 em melhor posição já que a mesma possui 268 km contra 333 km da rota 1.

Outro fator a favor da rota 2 é que seu maior trecho (Rio do Sul - SC-474), 90 km, possui menor risco (4.495,26 ur), proporcionalmente aos trechos de maior risco da rota 1 somados em extensão, ou seja: . SC-282 - Florianópolis (3.367,52 ur e 11 km), Florianópolis - SC-408 (2.506,06 ur e 14 km), SC-412 - BR-486 (3.315,69 ur e 32 km). Em outras palavras, podemos dizer que esse trecho da rota 2, expõe menos pessoas numa extensão maior que os outros trechos, da rota 1, numa extensão menor.

10. CONCLUSÕES

Os estudos desenvolvidos mostraram que a metodologia pode ser aplicada tanto na escolha de alternativas de rotas para o transporte de produtos perigosos como para qualquer outro tipo de carga, já que leva em conta fatores que podem ser adaptados conforme o caso.

Tais fatores são:

1 - Taxa de acidentes com veículos, que podem ser obtidos globalizados e particularizados conforme o caso.

2 - Volumes de tráfegos de veículos, que podem ser direcionados também conforme o caso que se queira estudar.

3 - A análise de risco populacional oferece uma importante ferramenta de decisão.

Os resultados obtidos na presente pesquisa de campo permitem concluir que:

- Entre as duas alternativas de rotas para o transporte de produtos perigosos na malha localizada em Santa Catarina e escolhida para a aplicação da metodologia, que o transporte efetuado de Lages a Itajaí é realizado com menor risco pela malha que contempla as rodovias SC-425, BR-470 e a rodovia SC-470, ou seja a alternativa denominada rota 2.

- A rota 2 apresenta maior uniformidade do risco por quilômetro de rodovia já que apenas um trecho, (Rio do Sul - SC-474, 90 km) ultrapassou 40 % do risco total.

- Pode-se avaliar e comparar os risco apenas entre os trechos das rodovias estudadas, pois não foi definido pela metodologia um valor de risco padrão que permitisse assim avaliar o quanto o valor encontrado para cada trecho difere desse padrão.

- A aplicação da metodologia é aplicável para a escolha de qualquer carga já que é apenas requerido a taxa de acidentes com veículos que transportam a referida carga.

11. RECOMENDAÇÕES

Dados os resultados e conclusões obtidos no presente trabalho, apresentamos algumas recomendações:

Tendo em vista as dificuldades encontradas no levantamento de dados para a pesquisa de campo, sugerimos o contínuo estudo de volumes de tráfego, acidentes, quantidade transportada de materiais perigosos no estado, avaliações de possíveis situações emergenciais, etc.

Considerando que Santa Catarina é um grande corredor, uma via de escoamento, de produtos que se originam em outros estados e países, o sucesso do trabalho desenvolvido pelas equipes de atendimento à emergências, requer uma maior interação e modernização destas equipes e, por parte do governo, uma boa e contínua fiscalização.

Dado ao fato também de nosso Estado ser um importante elo de integração do recente Mercosul, necessitamos de uma legislação internacional para a fiscalização de veículos de outros países que trafegam em nosso Estado

Para um maior conhecimento do grau de risco que nossas rodovias apresentam, é necessário que sejam incentivados estudos em nossas universidades, órgãos de pesquisa e outros interessados na qualidade do transporte de produtos perigosos

Para que seja possível a comparação quanto ao grau oferecido por uma determinada rodovia, é necessário um estudo para se determinar um valor que possa servir de padrão, e assim determinar realmente o quanto nossas rodovias são seguras.

12 . BIBLIOGRAFIA

- ABIQUIM. PRÓ-QUÍMICA. *Manual de Emergências com Produtos Químicos*, 1994.
- Bielein, L.W.. Hazardous Materials-- A Guide for State and Local Officials. report DOT-I-82-2. U.S. Department of Transportation, 1982.
- C.J. Nemmers e W.L Williams. Guidelines for Designating Routes for Transporting Hazardous Materials. *Public Roads*, vol. 47, n° 2, 1983, pp. 61-65.
- Dan Kessler. *Establishing Hazardous Materials truck routes for Shipments Through the Dallas-Fort Wort Area*. In *Regional Problems*. Recent advances in Hazardous Materials Transportation Research - Conference TRB, Florida, nov. 1985. pp 79-87.
- Douglas W. Harwood, Eugene R. Russel, John G. Viner. *Characteristics of Accidents and Incidents in Highway Transportation of Hazardous Materials*. In *Transportation Research Record* n° 1245, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1989. pp 23-33.
- Douglas W. Harwood, Eugene R. Russel, John G. Viner. *Truck Accidents Rate Model for Hazardous Materials Routing*. In *Transportation Research Record* n° 1264, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1990. pp 12-23.
- E.J. Barber e L.K. Hildebrand. *Guidelines for Applying Criteria to Designate Routes for Transporting Hazardous Materials*. Report FHWA-IP-80-15. U.S. Department of Transportation, 1980.
- F. FRANK SACCOMANNO e A. Y. - W. CHAN. *Economic Evaluation of Routing Strategies for Hazardous Road Shipments*. In *Transportation Research Record* n° 1020, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1985. pp 12-22.
- FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA, *Guia da Indústria de Santa Catarina*, Florianópolis, 1992. pp. 536.
- Guidelines for Applying Criteria to Designate Routes for Transporting Hazardous Materials*. Report DOT/RSPA/OHMT-89-02. Research and Special Programs Administration. U.S. Department of Transportation, 1989.
- J. Ivanchie. *Establishing Routes for Trucks Hauling Hazardous Materials in Portland, Oregon*. City of Portland Office of Emergency Management, Portland, jan. 1984.
- M.E. Wright e T.S. Glickman. A Survey of Foreign Hazardous Materials Transportation Safety Research Since 1978. In *Transportation Research Record* n° 977, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1984. pp 39-43.
- PIJAWKA, K. DAVID, STEVE FOOTE, e ANDY SOESILO. *Risk Assessment of Transporting Hazardous Material: Route Analysis and Hazard Management*. In

Transportation Research Record n° 1020, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1985. pp 01-06.

RAMOS, F.B e KNEBEL, L.M.F.P. *Qualidade no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos em Santa Catarina - Aplicação do Programa Atuação Responsável*. Florianópolis: UFSC, 1994. 217 p. Monografia de Conclusão do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho - Universidade Federal de Santa Catarina, mai. 1994.

RAYMOND D. SCANLON e EDMUND J. CANTILLI. *Assessing the Risk and Safety in Transportation of Hazardous Materials*. In *Transportation Research Record* n° 1020, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1985. pp 06-11.

VALENTE, A.M. *Estudo de Tráfego para o Plano de Concessão Rodoviária em Santa Catarina*. Florianópolis. dez. 1995.

W.G Ashton. *Routing of Hazardous Substances Moved by Road*. Proc., Symposium on Transport of Hazardous Materials, Institution of Civil Engineers, London, dec. 1979.

William R. Rhyne. *Evaluating routing Alternatives for Transporting Hazardous Materials Using Simplified Risk Indicators and Complete Probabilistic Risk Analyses*. In *Transportation Research Record* n° 1264, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1990. pp 1-11.