

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 O Risco no Transporte de Materiais Perigosos

Em uma revisão da extensa literatura sobre a distribuição de cargas perigosas foram encontradas várias sugestões de modelos e diferentes modos de visualizar essa questão, além de apresentações de técnicas para a avaliação dos riscos associados.

De acordo com Sherali *et al.* (1997), estudos definiram técnicas de roteirização para o problema do transporte de Materiais Perigosos (MP) que minimizam a distância total percorrida, o número previsto de acidentes, tanto fatais como não fatais, a probabilidade de ocorrer um acidente, a população existente a uma dada distância da rota, ou uma combinação desses fatores. No entanto, ainda que uma rota possa ter uma probabilidade muito baixa de acidente, ou estar associada a uma baixa consequência esperada (custo), pode não ser correto escolher essa rota se a consequência potencial ao ocorrer um acidente seja alta. Desse modo, essa única consideração, ainda segundo Sherali *et al.* (1997), não seria um critério conveniente para roteirizar materiais perigosos e que uma melhor alternativa seria impor certas restrições para a consequência esperada e a probabilidade de acidentes, onde esses valores estariam sujeitos a parâmetros específicos, ou seja, o problema implicaria em encontrar um caminho que minimiza a esperança condicional da consequência, sujeito a que o valor esperado da consequência seja menor ou igual a um valor específico e que a probabilidade de um acidente sobre o caminho seja também menor que algum valor dado.

Sivakumar *et al.* (1993) propuseram um modelo para o transporte de MP identificando uma rota que minimiza o risco, dado que ocorra um acidente (modelo de risco condicional). Em um outro método, Sivakumar *et al.* (1995) definem uma função objetivo que minimiza o risco esperado do primeiro acidente

e consideram a equidade na distribuição espacial do risco entre as diversas zonas geográficas da região estudada. Seguindo esses trabalhos Jin *et al.* (1996) e Jin e Batta (1997) tratam diversas funções objetivos baseadas na minimização da consequência esperada, dado que haverá um número determinado de viagens e dado um número máximo de acidentes aceitos antes que cessem os envios.

Por sua vez, Gopalan *et al.* (1990) desenvolveram um fator diferente no transporte de materiais perigosos. Eles construíram e analisaram um modelo que gera conjuntos de rotas equitativas e têm como objetivo determinar um conjunto de rotas que minimizarão o risco total do transporte e que propagarão o risco equitativamente pelas zonas pertencentes à região geográfica em que a rede de transporte está inserida, quando várias viagens são requeridas desde a origem até o destino final. Eles apresentam um modelo em que a diferença no risco total, entre todos os pares de centros populacionais, estão abaixo de um nível predeterminado e sugerem o uso de múltiplas rotas para embarques de MP entre um par de origem-destino, em vez de uma só trajetória. A função de risco total definida depende do risco em cada zona exposta ao perigo por uma ligação entre origem e destino.

Já Zografos e Davis (1989) usam, em seu modelo de transporte de materiais perigosos, um conjunto de restrições sobre a quantidade de fluxo nos arcos da rede de transporte como uma forma de impor equidade. Da sua parte, Lindner-Dutton *et al.* (1991) concentram-se em minimizar a soma das máximas diferenças nos riscos que existem entre qualquer par de zonas, supondo que essa soma se realiza sobre todas a viagens já realizadas.

Outros significantes pesquisadores possuem pontos de vista especiais para o problema em questão. Por exemplo, Erkut e Ingolfsson (2000) sugerem que prevenir uma catástrofe (incidente com consequências muito grandes) seria um tópico relevante na roteirização de materiais perigosos. Desse modo, introduziram três diferentes modelos de prevenção de catástrofes. O primeiro modelo define que a prevenção de catástrofes é atingida minimizando a máxima população exposta. No segundo modelo, a variância da consequência da rota é incorporada na decisão. E finalmente, no terceiro modelo, é usada uma função explícita de desutilidade. Eles mostram que os três modelos se reduzem a um problema padrão

do caminho mais curto. Cada modelo evita áreas de densas populações na rede de transporte.

A maioria dos modelos de roteirização de Materiais Perigosos não trata a roteirização como um experimento probabilístico, com exceção do modelo desenvolvido por Jin e Batta (1997) que trata o modelo como uma série de experimentos de *Bernoulli*. Eles apresentam uma visão que é baseada em cima da perspectiva probabilística da seqüência independente de experimentos de *Bernoulli*.

Vários pesquisadores acreditam que estudos científicos sobre roteirização podem ajudar a reduzir o risco da distribuição de cargas perigosas quando elas são transportadas por veículos terrestres (List *et al.*, 1991 e Erkut e Vetter, 1995).

Esse trabalho foi motivado principalmente pelas pesquisas desenvolvidas por Sherali, Brizendine, Glinckman e Subramanian (1997) e Gopalan, Kolluri e Karwan (1990). Diante dos seus enfoques e de todos os outros apresentados anteriormente, esse projeto faz uma junção, em um único modelo, dos distintos objetivos propostos, gerando um modelo multiobjetivo. Os objetivos são: minimizar a esperança condicional da conseqüência; a probabilidade de que ocorra um acidente; a conseqüência esperada; e a distância percorrida.

A proposta de modelo dessa dissertação torna-se distinto dos de Sherali et al. (1997) e de Gopalan et al. (1990) por incrementar fatores na restrição do risco, mas representando também a aceitabilidade e equidade, além de ter sido transformado em um modelo multiobjetivo de fluxo em redes. Apresenta-se a seguir a discussão das considerações de modelagem.