Metodologia para definição da sub-rede de transporte de produtos perigosos em áreas urbanas

Methodology for defining the transportation sub-network of dangerous products in urban areas

DOI: 10.46814/lajdv3n4-036

Recebimento dos originais: 01/05/2021

Aceitação para publicação: 31/06/2021

Ely Emerson Santos da Costa

Doutor em Engenharia de Transportes - UFRJ

Instituição de atuação atual: Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro - CET-Rio

Endereço completo: Rua Dona Mariana, 48 - 1º andar - GISV - Botafogo - Rio de Janeiro - CEP: 22280-020

E-mail: eescosta@gmail.com

Paulo Cezar Martins Ribeiro (In memoriam)

Doutor em Transport Studies - University College London

RESUMO

Em muitas cidades brasileiras não existe a menor indicação de rotas preferenciais para o transporte de cargas, estudo da demanda, estabelecimento de horários permitidos etc. Estas informações são elementos fundamentais para o bom funcionamento do serviço. No que se refere ao transporte de cargas, a categoria dos produtos perigosos possui características peculiares que devem ser estudadas de maneira diferenciada. Principalmente quando este transporte é feito em áreas urbanas. Este trabalho tem como objetivo criar uma metodologia para a definição de uma sub-rede para o transporte de produtos perigosos em áreas urbanas, utilizando dados da densidade populacional, meio ambiente, limite de velocidade e índice de acidentes. Utilizou-se o método de análise hierárquica e um sistema de informações geográficas específico da área de transportes.

ABSTRACT

In many Brazilians cities there is no indication of preferred routes for the transport of goods, study of demands, timetabling allowed etc. These informations are crucial to the operation of the service. Regarding the transport of goods the category of dangerous goods has characteristics that should be studied in a different way. Especially when this transport is done in urban areas. This work aims to create a methodology for definition of transportation of dangerous goods sub-network in urban areas, using data from population density, environment, speed limit and rate of accidents to choose the most suitable routes for the traffic of vehicles carrying dangerous goods. Were used the analytic hierarchy process and a geographic information system applied to transportation issues.

1 INTRODUÇÃO

Ainda que o movimento urbano de cargas seja responsável por funções indutoras de desenvolvimento de uma região, ele é visto por muitos habitantes e autoridades como um grande empecilho para a circulação de veículos e passageiros. No entanto, estas pessoas necessitam consumir bens diariamente, sendo fundamental o abastecimento de postos de consumo. Quando se trata do

transporte de produtos perigosos em áreas urbanas, devido à natureza da carga e as implicações advindas da mesma, é necessário levar em consideração fatores como: condições do veículo, situação da via, estado do motorista, fiscalização, condições climáticas, risco de roubos e de acidentes.

A maioria dos trabalhos aborda de uma forma geral o transporte de carga urbana, sem dar o devido destaque para o transporte de produtos perigosos. Além disso, grande parte deles aborda este serviço em rodovias, onde as condições de tráfego são totalmente diferentes do que é encontrado na área urbana.

Sendo assim, é necessário que sejam feitos estudos para fundamentar a implantação de tecnologias para o controle e gerenciamento do transporte de produtos perigosos em áreas urbanas.

2 CLASSES DE PRODUTOS PERIGOSOS

A classificação adotada para os produtos perigosos, considerando o tipo de risco que apresentam e conforme as recomendações para o transporte de produtos perigosos das Nações Unidas é composta das seguintes classes definidas na Tabela 1:

Tabela 1: Classes de Produtos Perigosos

Classe	Nome	Exemplos
1	Explosivos 1.1 Explosão em massa 1.2 Explosão em projeção 1.3 Explosão com incêndio 1.4 Explosão com deslocamento de ar 1.5 Produtos insensíveis 1.6 Produtos detonantes	Bombas Munições Sinalizadores de fumaça
2	Gases 2.1 Gases inflamáveis 2.2 Gases comprimidos 2.3 Gases tóxicos	Acetileno Argônio, Nitrogênio Amônia
3	Líquidos Inflamáveis	Óxido de Propeno Dissulfeto de carbono Gasolina
4	Sólidos Inflamáveis 4.1 Sólidos Inflamáveis 4.2 Combustão espontânea 4.3 Perigosos quando molhados	Potássio Fósforo Bário
5	Oxidantes 5.1 Oxidantes 5.2 Peróxidos orgânicos	Permanganato Peróxido Orgânico
6	Produtos Tóxicos ou infectantes 6.1 Materiais tóxicos 6.2 Produtos infecciosos	Cianeto de bário 2814, 2900
7	Radioativo	Urânio Tório
8	Corrosivo	Ácido sulfúrico
9	Outros	Amianto

3 O TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS

Segundo GOH *et al.* (1995), o transporte de produtos químicos sempre foi uma preocupação em Cingapura, devido a sua densidade populacional elevada e pequena área. Os locais que usam e

consomem produtos perigosos estão localizados em áreas remotas na ilha principal ou em outras ilhas no mar. No entanto, devido ao espaço limitado de terra, aumenta a dificuldade da realização deste serviço.

BOTTO *et al.* (2002) relata que a segurança foi sempre um dos interesses do *Joint Research Centre* (JRC) em Ispra na Itália, que lançou um programa sobre o desenvolvimento e instalação de um sistema piloto para o controle de produtos perigosos nas províncias italianas de Brindisi, Taranto e Veneza, chamado SIMAGE. Este projeto que visa à realização de um sistema integrado de controle e prevenção da poluição e dos riscos ligados às atividades industriais no transporte de produtos perigosos, permite:

- O acompanhamento em tempo real do veículo;
- A avaliação dos riscos derivados de transporte;
- Um sistema de alerta em caso de emergência;
- A gestão de suporte para casos de emergência.

Como foi relatado em DATLA (2004), pode-se usar o módulo de roteirização do TransCAD, que é um Sistema de Informações Geográficas específico da área de transporte, para escolher uma rota para o veículo que está transportando produtos perigosos. Se algum acidente ou derrame ocorrer a partir desses veículos, poderá gerar danos para a população, bem como para as propriedades no entorno. Tais ocorrências não podem ser evitadas, mas é possível minimizar os prejuízos, permitindo que a população tenha o mínimo de exposição, com relação a estes veículos, ao longo de uma faixa com uma largura selecionada.

Segundo DAMODARAN *et al.* (2003), modelos de previsão para determinar a probabilidade de ocorrência de derramamentos de materiais perigosos podem ser úteis, já que apontam os locais destinados à aplicação de tecnologias voltadas à diminuição de seu número. Por isso, foi feito um estudo para a determinação da probabilidade de ocorrer um derramamento de produtos perigosos nas vias de *New Jersey*.

A metodologia é baseada numa equação utilizada pela *British Highways Agency*. Os parâmetros utilizados pelos britânicos foram modificados de modo a refletir as condições que melhor se enquadram ao estado de *New Jersey*.

Usando a probabilidade calculada a partir deste método, o intervalo de reincidência é determinado. Os segmentos com as maiores chances de acontecimento de acidentes com produtos perigosos são identificados. Assim, mediante a identificação de locais propensos ao perigo, são

adaptadas melhores soluções de engenharia. A probabilidade de um grave derramamento acidental acontecer e foi calculada utilizando a seguinte equação:

$$P = CV.TD.(TMDA.365.10^{-6}).\left(\frac{\%VPC}{100}\right) \quad (1)$$

Onde:

P = probabilidade do acontecimento de um grande derramamento; CV = comprimento da via em quilômetros;

TD = Taxa de derramamento; TMDA = volume médio diário anual;

%VPC = porcentagem de veículos pesados de carga.

Para obter as taxas de derramamento o primeiro passo foi determinar o número de acidentes com produtos perigosos a partir da base de dados de acidentes. Os dados de acidentes entre 1997 e 2000 foram utilizados para determinar o número de acidentes com produtos perigosos no estado. Com base no número de acidentes e os milhões de quilômetros viajados por veículos pesados de cargas, as taxas de derramamento são calculadas como:

$$TD = \frac{NAA}{MQV.365} \quad (2)$$

Onde:

TD = taxa de derramamento;

NAA = número de acidentes por ano;

DILGIR *et al.* (2005) relata que o Centro de Planejamento e Engenharia de Transportes da Universidade de Calgary deu início a um projeto de pesquisa para determinar como incorporar a segurança na designação de uma rede de rotas de produtos perigosos, que são comumente estabelecidas para melhorar a segurança pública.

Os objetivos do estudo, que foi feito pelos funcionários da administração municipal de Calgary, são os seguintes:

- Criar um novo conjunto de critérios para minimizar o risco de derrames nas rotas de produtos perigosos;
- Analisar a adequação da rede atual;
- Identificar potenciais alterações e atualizações das rotas;
- Desenvolver cenários “E se” para examinar as alternativas de desvio do tráfego quando uma rota estiver bloqueada, devido a uma situação de emergência;
- Documentar as implicações de permitir novos empreendimentos com uma grande concentração

de pessoas ao longo das rotas.

Para estabelecer rotas para produtos perigosos, uma comissão multidisciplinar analisou os seguintes fatores:

- Volume de tráfego (incluindo uma classificação por tipo de veículo);
- Taxa de acidentes atuais;
- Hierarquia viária;
- Uso do solo no entorno;
- Drenagem superficial e profunda;
- Atendimento para o caso de emergências;
- Previsão dos produtos que serão transportados.

Considerou-se que todo o tráfego seria exposto a riscos similares. Foram recolhidas as informações sobre o número de veículos que transportam produtos perigosos ao longo de um determinado percurso, para complementar o volume de tráfego disponível e os dados de acidentes.

Foi desenvolvida uma fórmula para determinar a probabilidade de acontecer um acidente baseada na taxa de acidente conhecida.

$$P = \left(\frac{nvtp}{ntv} \right) * tta \quad (3)$$

Onde:

P = probabilidade de acontecer um acidente;

$nvtp$ = nº de veículos que transportam produtos perigosos;

ntv = nº total de veículos; e

tt = taxa total de acidentes.

Segundo NELSON *et al.* (2006), o seguinte processo, mostrado na Figura 1, foi implantado na Cidade de Calgary para a avaliação das rotas existentes e criação de rotas alternativas:

FIGURA 1 - Processo de avaliação de rotas para produtos perigosos

- a) Escolha de uma rota: é um processo subjetivo para determinar se uma rota é necessária ou se existem alternativas.
- b) Avaliação de uma rota: é um processo objetivo de avaliação, usando critérios específicos para desenvolver uma matriz de risco.
- c) Mitigação do Risco: fornece a redução dos riscos para satisfazer o nível tolerável. Exemplos de mitigação dos riscos são: melhorar a qualidade do pavimento, adicionar mais faixas a pista, proteger os cursos d'água etc.
- d) Revisão das Rotas: as rotas devem ser revistas a cada 5 anos. A revisão pode ser iniciada num período de tempo menor, se houver mudanças significativas na rede viária.

4 INCIDENTES COM PRODUTOS PERIGOSOS NA CIDADE DO RIO DEJANEIRO

COSTA (2009) relata que segundo os registros do INEA (Instituto Estadual do Ambiente), aconteceram 561 incidentes rodoviários com produtos perigosos no estado do Rio de Janeiro de 1984 até 2007. Deste total, 73 foram registrados na cidade do Rio de Janeiro. Durante este período aconteceram 3,17 acidentes/ano na cidade. Estes números comparados com acidentes de trânsito com veículos que não transportam produtos perigosos parecem pequenos, apesar disso, quando ocorre um acidente com produtos perigosos dependendo da periculosidade destes, a experiência do condutor, o local, a quantidade de pessoas expostas, as condições do tempo, o tempo de chegada da equipe de atendimento, entre outros, pode influenciar na ocorrência de uma catástrofe sem precedentes. Os tipos de incidentes registrados são: vazamentos, acidentes de trânsito, rompimentos de embalagens, roubo de cargas etc. Em relação a tais incidentes, houve perda do produto em 47 casos (64,38%), restando 26 casos (35,62%) em que tal não se verificou. Quando ocorre um incidente com veículos que transportam produtos perigosos, os analistas ambientais do INEA que trabalham no Serviço de Controle de Poluição Acidental são chamados no local para que sejam realizados os procedimentos atenuantes de riscos às

pessoas envolvidas e ao meio ambiente. São transmitidas as orientações pertinentes e procede-se a um registro em formulário específico.

Analisando os dados fornecidos pelo INEA pode-se dizer que os locais onde se deu o maior número de acidentes registrados na cidade do Rio de Janeiro: Parada de Lucas, Bonsucesso, Caju, Penha, Ponte Rio - Niterói, São Cristovão, Bangu, Barra da Tijuca, Campo Grande, Jardim América, Pavuna, Santa Cruz e Sulacap.

A maioria dos incidentes aconteceu nas zonas norte e oeste da cidade do Rio de Janeiro. Isto se deve porque nestas áreas se localiza a maior parte das fábricas ou empresas que fazem o manuseio de produtos perigosos. O bairro do Caju aparece nos registros devido aos incidentes que ocorreram no Porto do Rio de Janeiro.

No caso da Ponte Rio - Niterói, apesar de haver regulamentação proibindo o tráfego de veículos transportando produtos perigosos, há incidência desta prática. Entende-se que devido ao grande número de veículos que transitam diariamente na Ponte, a fiscalização não consegue impedir todos os casos de transgressão à regulamentação.

Com relação à classificação feita pela ONU, os incidentes ocorridos na cidade do Rio de Janeiro tiveram a participação das seguintes classes: líquidos inflamáveis, substâncias corrosivas, substâncias perigosas diversas, substâncias venenosas, sólidos inflamáveis, gases e substâncias oxidantes. No período de 1984 até 2007 não foram registrados casos com as classes de explosivos e materiais radioativos.

Os tipos de produtos que têm as maiores participações nos incidentes ocorridos na cidade do Rio de Janeiro são: óleo diesel, gasolina, álcool, ácido sulfúrico, querosene de aviação, enxofre, hidróxido de amônia.

5 MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA

Um dos primeiros métodos desenvolvidos no ambiente das Decisões Multicritério Discretas, sendo um dos mais utilizados no mundo, é o método de análise hierárquica (AHP, do inglês *Analytic Hierarchy Process*), criado pelo professor Thomas L. Saaty. Nesse método, o problema de decisão é dividido em níveis hierárquicos, facilitando, assim, a sua compreensão e avaliação (GOMES *et al.*, 2004).

Os elementos fundamentais do método AHP são:

- Atributos e propriedades: um conjunto finito de alternativas é comparado em função de um conjunto finito de propriedades.
- Correlação Binária: ao serem comparados dois elementos baseados em uma determinada

propriedade, realiza-se uma comparação binária, na qual um elemento poder ser preferível ou indiferente a outro.

- Escala fundamental de Saaty: a cada elemento associa-se um valor de prioridade sobre os outros elementos, que será lido em uma escala numérica de números positivos reais. A Tabela 2 ilustra a escala.
- Hierarquia: um conjunto de elementos ordenados por ordem de preferência e homogêneos em seus respectivos níveis hierárquicos.

TABELA 2 – Escala Fundamental de Saaty

Valor	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Pouco mais importante	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra.
5	Muito mais importante	A experiência ou o juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Bastante mais importante	Uma atividade é bastante favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Extremamente mais importante	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança
2,4,6 e 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Segundo TAHA (2008), os problemas de decisão que envolvem um número finito de alternativas surgem com frequência na prática. As ferramentas utilizadas para resolver esses problemas dependem em grande parte do tipo de dado disponível (probabilístico, determinístico ou incerto). O AHP é uma ferramenta de destaque para lidar com decisões sob certeza, nas quais o julgamento subjetivo é quantificado de maneira lógica e depois usado como base para chegar a uma decisão. No caso de dados probabilísticos, as árvores de decisão que comparam o custo (ou lucro) esperado são a base para se chegar a uma decisão.

5.1 EXPERT CHOISE

No início da década de 70, o exército, grandes empresas e o governo dos Estados Unidos representavam uma demanda importante por um método de auxílio à tomada de decisão. Foi assim que a *Expert Choice* foi fundada por consultores experientes, respeitados no meio acadêmico norte americano. Entre eles estavam o Dr. Thomas Saaty e o Dr. Ernest Forman, ambos os professores da *Wharton Business School*. Em 1983, foi lançado o software homônimo da empresa (SOLOMON e MONTEVECHI, 1997).

O software tem uma interface amigável, possibilitando rápida compreensão e inserção de dados. O usuário apenas insere o objetivo, os critérios e os números na escala de 1 a 9 para as comparações entre critérios e entre alternativas. O programa, que usa a solução exata pelo autovetor e autovalor, mostra os resultados numéricos, a razão de consistência de cada comparação e análise de sensibilidade.

6 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Segundo DANGERMOND (1992), um SIG pode ser definido como uma coleção organizada de hardware, software, e dados geográficos desenvolvidos para capturar, armazenar, manipular, avaliar e mostrar de forma eficiente todas as formas de informação referenciadas geograficamente.

Segundo DILGIR *et al.* (2005) o SIG é um instrumento importante para resolver os problemas de transporte, uma vez que pode manipular grandes quantidades de dados e apresentar os resultados em uma ampla gama de formatos gráficos. Vários tipos de sistemas de informações geográficas são utilizados em muitas zonas urbanas e pode ser uma boa plataforma para planejar rotas de produtos perigosos.

6.1 O TRANSCAD

O TransCAD é um sistema de informações geográficas específico da área de transportes. Ele “roda” em ambiente Windows e auxilia os profissionais, as empresas e as instituições na realização de análises na área de transportes. Ele possui aplicações em níveis internacional, nacional, regional e local e pode ser usado para todos os modos de transporte.

7 METODOLOGIA

Levando em consideração a pesquisa bibliográfica realizada neste trabalho, foi desenvolvida uma metodologia que possui as seguintes etapas:

1. Criação de uma base de dados num sistema de informações geográficas contendo o sistema viário, os bairros da cidade, a população residente, os índices de acidentes de trânsito, as velocidades máximas permitida nas vias.
2. Classificação das vias obedecendo à hierarquização viária.
3. Seleção de todas as vias estruturais, arteriais primárias e secundárias para a criação de um conjunto de vias candidatas, que poderão fazer parte da sub-rede.
4. Eliminação de viadutos, túneis e mergulhões do conjunto de vias candidatas;
5. Escolha das variáveis e os seus pesos para efeito de avaliação das vias, utilizando o método AHP.
6. Escolha das vias que comporão a sub-rede, levando em consideração as notas finais obtidas na avaliação.

7.1 DETALHAMENTO DA METODOLOGIA

Após a revisão na literatura, observou-se que as variáveis que mais apareciam nos estudos realizados para implantação de rotas para produtos perigosos eram: densidade populacional, índice de acidentes, limite de velocidade, meio ambiente e volume de tráfego. Por falta de dados, a última variável citada foi eliminada deste estudo.

Para a criação da base de dados no sistema de informações geográfica TransCAD, foram utilizados os arquivos do Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Rio de Janeiro de 2005 (PDTU/RMRJ).

Foram utilizados os dados de população do CENSO de 2000. O valor da densidade populacional foi obtido utilizando a ferramenta overlay disponível no SIG-T, levando em consideração a população que seria afetada num raio de 10 metros dos eixos das vias que compõem a sub-rede. Os dados de acidentes foram coletados no banco de dados da CET-Rio. Estes dados são referentes ao ano que 2006, que foi o último ano em que estes dados foram processados. Para o cálculo dos índices de acidentes, foi feita a divisão do número de acidentes por logradouro pela extensão em quilômetros do mesmo. Os valores de limite de velocidade das vias estudadas foram retirados de um relatório da CET-Rio. Com relação as informações sobre o meio ambiente no entorno das vias estudadas foi utilizado o programa *Google Earth*, onde através das fotos aéreas disponíveis, foram observados os elementos necessários para que fossem atribuídas as notas desta variável.

Dentro da rede viária da cidade do Rio de Janeiro, foram escolhidas as vias estruturais, arteriais primárias e secundárias para fazer parte do conjunto das vias candidatas da sub-rede, pois elas possuem uma maior infraestrutura para absolver o tráfego de veículos que transportam os produtos perigosos. Além disso, a eliminação das vias locais e coletoras deste conjunto se deve ao fato de que a maior parte das áreas residenciais estão localizadas nestas vias. A Figura 2 mostra as vias candidatas.

FIGURA 2 - Mapa das vias candidatas no sistema viário do Rio de Janeiro.

Foi feita uma pesquisa de opinião com 30 funcionários da CET-Rio, dentre eles estão: 18 engenheiros e 12 arquitetos, que trabalham elaborando projetos viários, fazem análise de pólos geradores de viagens e com operações de tráfego. Na pesquisa, cada participante preencheu uma matriz, aonde foi pedido que fosse feita uma comparação par a par da importância de cada variável levando em consideração a escala fundamental de Saaty, para a elaboração de rotas para o transporte de produtos perigosos em áreas urbanas. A Tabela 3 mostra um exemplo da matriz utilizada na pesquisa.

TABELA 3 - Matriz utilizada na comparação par a par das variáveis.

	Densidade Populacional	Índice de Acidentes	Limite de Velocidade	Meio Ambiente
Densidade Populacional				
Índice de Acidentes				
Limite de Velocidade				
Meio Ambiente				

Após os participantes preencherem as matrizes com as suas avaliações, os dados foram processados numa planilha eletrônica utilizando o método AHP para se chegar ao peso que cada variável teria no modelo elaborado. Em seguida, foi utilizado o programa *Expert Choise* para se chegar aos pesos finais das variáveis escolhidas. Cada link das vias candidatas receberá uma nota obedecendo aos critérios contidos na Tabela 4.

TABELA 4: Critérios para atribuição de notas para as vias candidatas.

Notas Variáveis	1	2	3	4	5
	Critérios				
Densidade Populacional	0 - 1240	1241 - 2480	2481 - 3720	3721 - 4960	4961 - 6200
Meio Ambiente	Pouca vegetação ou nenhuma.	A via é arborizada.	A via possui uma área verde.	A via possui um curso d'água.	A via possui uma área verde e um curso d'água.
Índice de Acidentes	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Limite de velocidade	50 - 60	61 - 70	71 - 80	81 - 90	91 - 100

Como foi mostrado na Tabela 4, as notas variam de 1 a 5. Quanto maiores forem as notas, maiores serão os riscos para o transporte de produtos perigosos nestas vias.

Sabe-se que cada via é composta por, pelo menos, um *link* ou um conjunto deles. Pode haver uma variação de nota nos links que compõe uma via. A nota final para cada *link* vai ser dada pela seguinte equação:

$$NF = NDP * PDP + NMA * PMA + NIA * PIA + NLV * PLV \quad (4)$$

Onde:

NF = nota final;

NDP = nota da densidade populacional; PDP = peso da densidade populacional; NMA = nota do meio ambiente; PMA = peso do meio ambiente; NIA = nota do índice de acidentes; PIA = peso do índice de acidentes; NLV = nota do limite de velocidade; PLV = peso do limite de velocidade.

De acordo com as notas alcançadas por cada via, os riscos por trecho podem ser classificados como está ilustrado na Figura 3:

FIGURA 3 - Classificação dos riscos

Com a nota final calculada, as vias vão ser classificadas conforme o risco para o transporte de produtos perigosos. Podendo ser vias com o risco baixo, médio ou elevado. As vias classificadas com o risco elevado serão eliminadas da sub-rede. As vias com risco médio serão consideradas para a criação de uma sub-rede que funcionará após o horário noturno (20:00h - 06:00h). Para as vias que possuem risco baixo será criada uma sub-rede que funcionará no horário comercial. Como a aplicação desta metodologia será aplicada na cidade do Rio de Janeiro, onde existe um decreto que proíbe a circulação de veículos transportando cargas, será criada uma sub-rede para funcionar durante os períodos onde há esta proibição.

8 RESULTADOS

Os pesos finais das variáveis, encontrados através do programa *Expert Choise* foram:

- Densidade Populacional: 0,468;
- Índice de Acidentes: 0,222;
- Meio Ambiente: 0,202; e
- Limite de Velocidade: 0,107.

As sub-redes que são propostas após a aplicação da metodologia proposta são:

- Sub-rede 1: é constituída pela vias que obtiveram a classificação de risco baixo e funcionará das 10:00h até às 17:00h, como mostra a Figura 4. Neste período não há restrição para o transporte de nenhum tipo de carga.

FIGURA 4 - Sub-rede nº1 para o transporte de Produtos Perigosos.

- Sub-rede 2: é constituída pela vias que obtiveram a classificação de risco baixo e funcionará em dois períodos (06:00h - 08:00 e das 17:00h - 20:00h). Nestes períodos há restrição para o transporte de cargas na área mostrada na Figura 5.

FIGURA 5 - Sub-rede nº2 para o transporte de Produtos Perigosos.

- Sub-rede 3: é constituída pela vias que obtiveram a classificação de risco baixo e risco médio e funcionará das 20:00h até as 06:00h, como mostra a Figura 6. Neste período não há restrição para o transporte de cargas.

FIGURA 6 - Sub-rede nº 3 para o transporte de Produtos Perigosos.

9 CONCLUSÕES

Para haver um comportamento harmônico entre os personagens que convivem diariamente no ambiente urbano, é necessário pensar em políticas públicas para gerenciar o conflito de interesses existente, sem que haja prejuízos para nenhuma das partes envolvidas. O transporte urbano de cargas é um serviço que necessita de atenção especial, pois sem um gerenciamento eficiente, ele não se sustenta e a população não poderá usufruir dos bens de consumo.

Uma das maiores dificuldades para a realização desta pesquisa foi a obtenção de dados para utilização na metodologia proposta. Mesmo sabendo através de pesquisa bibliográfica que a variável volume de tráfego interfere na escolha por onde serão alocadas as rotas para produtos perigosos, não foi possível a sua utilização, pois a CET-Rio não possui estes dados para todas as vias estruturais, arteriais primárias e secundárias.

O método AHP se mostrou adequado para a atribuição dos pesos das variáveis utilizadas na metodologia, uma vez que se conseguiu sintetizar a opinião de trinta profissionais da área de transportes que contribuíram para este estudo. O software Expert Choise se mostrou bastante

“amigável” quando da sua utilização para entrada de dados e obtenção dos resultados, mostrando de forma gráfica e numérica os pesos finais.

O TransCAD proporcionou a elaboração de uma base de dados do Rio de Janeiro, com a possibilidade de integração de várias camadas de pontos, linhas e áreas, que foram imprescindíveis para as análises realizadas.

A metodologia empregada neste trabalho se mostrou viável, apesar de ser uma primeira tentativa de estudar a infraestrutura necessária para o bom funcionamento do transporte de produtos perigosos na cidade do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOTTO, A.; FREPPAZ, D.; PIZZORNI, D.; RUDARI, R.; SACILE, R.; TRAVERSO, S. (2002). *SIT per lavalutazione real-time del rischio da trasporto di merci pericolose*. Disponível em: http://www.esriitalia.it/conferenza2004cd/content/documenti/22_Aprile/Sacile.doc. Acesso: 06/02/2008.
- COSTA, E. E. S. (2009). Metodologia para Definição da sub-rede de Transporte de Produtos Perigosos em Áreas Urbanas. Tese de Doutorado. UFRJ/COPPE/PET. Rio de Janeiro.
- DAMODARAN, M.; DANIEL, J.; LUKE, A. C. (2003). *Probability of a hazardous material truck accident in New Jersey*. 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board. TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM. 19 p.
- DANGERMOND, J. (1992). What is a Geographic Information System (GIS)? Geographic Information System and Mapping - Practices and Standards. ASTM STP, n° 1126. Philadelphia. p. 11-17.
- DATLA, S. K.; MOORTHY, R. S.; RAO, K. V. K. (2004). *A GIS for Routing of Oversized and Hazardous Material Carrying Vehicles*. Map Asia. Beijing, China.
- DILGIR, R.; ZEIN, S. R.; POPOFF, A. (2005). *Dangerous Goods Route Selection Criteria*. Annual Conference of the Transportation Association of Canadá. Calgary. Alberta. 12p.
- GOH, C. B.; CHING, C. B.; TAN, R. (1995). *Risk Analysis for the Road Transportation of Hazardous Chemicals in Singapore a Methodology*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Volume 8, n° 1. p. 35-39.
- GOMES, L. F. A. M; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. (2004). Tomada de Decisões em Cenários Complexos. Ed. Pioneira Thonson Learning, São Paulo.
- NELSON, C.; CATAFORD, A.; HWANG, P. (2006). *Transportation of Dangerous Goods: Policy and Evaluation Framework*. Annual Conference of the Transportation Association of Canada. Best Practices in Urban Transportation Planning Session. Charlottetown, Prince Edward Island. 19p.
- SALOMON, V. A. P.; MONTEVECHI, J. A. B. Método de Análise em Redes: o Sucessor do Método de Análise Hierárquica? XVII ENEGEP. Gramado - RS.
- TAHA, H. A. (2008). Pesquisa Operacional: uma visão geral. 8^a Ed. Pearson Prentice Hall. São Paulo.