

## ATENDIMENTO MÉDICO EM RODOVIAS - LOCALIZAÇÃO DE AMBULÂNCIAS

**Prof. João Carlos Souza, Dr.**

Departamento de Arquitetura e Urbanismo  
Universidade Federal de Santa Catarina

### RESUMO

O desenvolvimento de modelos para projetar e reconfigurar sistemas de atendimento emergencial tem recebido muita atenção de pesquisadores nos últimos anos. Nestes sistemas o objetivo é, sempre, atender as necessidades da população o mais rápido possível, de modo a evitar maiores danos à vida e ao patrimônio das pessoas.

Neste trabalho é apresentado uma metodologia para distribuir unidades de atendimento médico em rodovias. A justificativa é o expressivo aumento dos acidentes nas estradas, que já atinge um patamar quase calamitoso em termos de ferimentos e perdas de vidas.

O modelo desenvolvido é similar ao problema das p-medianas no qual, entretanto, foram incluídas restrições relativas aos problemas de p-centros e de cobertura de conjuntos.

Um aplicação prática foi feita num trecho da BR 101/SC, constatando-se que é possível obter-se uma redução significativa do tempo resposta das viaturas e, conseqüentemente, elevação do nível de serviço do sistema.

### ABSTRACT

The development of models to design and reconfigure emergency attendance systems has been receiving a lot of attention from researchers in the recent past years. In these systems the objective is always to provide immediate assistance to the people so as to avoid larger damages to the people's patrimony.

This paper presents a methodology for distributing medical attendance units in highways. The progressive increase in the number of accidents in highways, already reaching an almost calamitous threshold in terms of wounded people and lives lost, is the main reason for the development of such a model.

The model developed is similar to p-medium one, to which restrictions were included regarding the problems of p-centers and set covering.

A practical application was made in BR 101/SC highway, being verified that it is possible to obtain a significant reduction of the response time of vehicles and, consequently, an improvement in the level of service of the whole system.

### 1 - INTRODUÇÃO

Os especialistas em primeiros socorros ensinam que, em caso de acidentes, deve-se tomar muito cuidado ao se atender a vítima, pois é muito provável que, não conhecendo-se os procedimentos corretos a se seguir, se agravem os ferimentos do acidentado. No caso de acidentes automobilísticos as pessoas, com a melhor das intenções, procuram logo e de qualquer jeito retirar as vítimas das ferragens e transportá-las para um hospital. Tal atitude, quase sempre, causa severos prejuízos aos feridos como

por exemplo, perfuração de órgãos por algum osso quebrado ou danos permanentes à coluna vertebral parcialmente atingida. Portanto um atendimento rápido, prestado por pessoas especializadas e bem equipadas é sempre preferível.

O Brasil é considerado um dos países que apresentam os maiores índices de acidentes nas rodovias proporcionalmente à sua população, mais de 25.000 pessoas morrem por ano em nossas estradas, com um número sensivelmente maior de feridos e incapacitados. O novo Código Nacional de Trânsito é uma tentativa de conter esta verdadeira epidemia, porém os resultados até agora ainda não foram significativos.

Como os acidentes continuam a acontecer é necessário que se tomem medidas para atender com eficiência e rapidez as vítimas que invariavelmente resultam dos mesmos, de modo a minorar o sofrimento e reduzir a probabilidade de morte ou seqüelas que podem incapacitá-las temporária ou permanentemente. Nos países desenvolvidos existem, inclusive, leis que determinam a obrigatoriedade do poder público garantir um sistema de socorro médico emergencial para a população. Nos Estados Unidos, por exemplo, o *SEM Act* de 1973 estipula que 95% das chamadas sejam atendidas em, no máximo, 30 minutos nas áreas rurais e 10 minutos nas áreas urbanas (Ball e Lin, 1993).

Com a implantação daquela lei e os subsequentes melhoramentos no serviço, a partir de 1991 conseguiu-se que todo o território dos EUA fosse coberto por um sistema emergencial que permite um tempo médio de resposta, isto é, o tempo que a unidade de serviço (ambulância) leva para chegar ao local do acidente uma vez comunicada sobre o mesmo, de 6 minutos para as áreas urbanas e 11 minutos para as áreas rurais (Brodsky, 1992)

No Brasil, entretanto, fornecer serviços de atendimento emergencial para a população deveria ser uma das principais responsabilidades dos governos. Porém os custos para mantê-los são consideráveis e o agravamento da situação financeira em quase todos os níveis de administração pública tem ocasionado redução no fluxo de verbas para estes setores, com a conseqüente redução, na maioria dos casos, da qualidade dos serviços oferecido (Souza, 1996).

## 2) JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Um dos instrumentos de que dispõem os países desenvolvidos na área de segurança são planos para distribuição das unidades de atendimento emergencial de modo a cobrir de maneira relativamente uniforme toda a área onde existam concentrações humanas, assim como de regulamentos específicos de segurança bastante abrangentes e aplicados a nível nacional.

Na maioria das rodovias brasileiras os critérios para distribuição de unidades de atendimento emergencial, normalmente representadas pelas viaturas das polícias rodoviárias federal e estadual, são empíricos, dificilmente baseando-se em projetos ou estudos. As unidades são simplesmente espalhadas pela extensão da via, mantendo-se, quando muito, uma distância fixa entre elas. Para o caso da Polícia Rodoviária Federal, esta distância padrão é de cerca de 80 km.

A maior ou menor possibilidade de acontecer o agravamento de uma situação emergencial depende da rapidez da chegada da equipe de atendimento, ou seja do tempo resposta. Pode se dizer que o sucesso

de uma operação de socorro a feridos em função um acidente automobilístico depende essencialmente do seguinte:

- Do tempo decorrido entre o momento da ocorrência do acidente e o contato com a viatura de socorro;
- Do tempo de deslocamento da unidade de atendimento emergencial (tempo resposta), que, por sua vez, depende da distância da base e da velocidade de deslocamento do veículo;
- Da habilidade e competência dos membros da equipe em prestar os primeiros socorros.

O objetivo deste trabalho se prende à segunda das medidas de performance, ou seja ao “tempo resposta” e aos meios para reduzi-lo, não se preocupando com as técnicas de atendimento das equipes nos locais dos incidentes. Isso porque tais técnicas se inserem num campo de conhecimento muito específico, fora do ramo de nosso âmbito profissional e acadêmico.

O tempo resposta , entretanto, é composto de vários elementos, como o tempo para coletar as informações sobre o local e a natureza do incidente, possíveis filas em situações de congestionamento, tempo em que a solicitação deve aguardar até que se disponha de uma unidade de emergência para atendê-la e, finalmente, o tempo requerido para que o veículo. se desloque desde a sua base até o local da emergência.

A demora no despacho das viaturas de socorro. depende da natureza do serviço, dos equipamentos de comunicação existentes na central de comando e do nível de adestramento dos responsáveis por atender aos chamados.

Filas de espera dependem do número de unidades disponíveis no sistema e das regras de liberação dos veículos adotadas, visto que pode ser dada baixa prioridade para atendimento de alguns tipos de chamados quando o sistema estiver congestionado com muitos veículos ocupados ( Daskin ,1987).

A meta deste trabalho é, em última escala, reduzir os atrasos devidos ao tempo de viagem que representa a parcela mais significativa do tempo resposta. Este tempo de viagem depende basicamente dos seguintes fatores:

- 1) O número de veículos ou unidades de atendimento emergencial disponíveis;
- 2) A localização das bases das viaturas de emergência;
- 3) As regras de relocação das unidades durante períodos de congestionamento.
- 4) As regras para despacho das unidades., que determinam qual veículo deve ser enviado para cada emergência em função do número de viaturas ocupadas, de sua localização e da natureza da chamada de emergência.

Obviamente quando se aumenta a frota de veículos disponíveis, o tempo médio de viagem para uma emergência decresce. Com um número fixo de viaturas, o tempo médio pode ser melhorado pela seleção dos locais de aquartelamento das viaturas, tomando-se como base a demanda de cada região.

Quando uma chamada de emergência é recebida, é possível que alguma unidade esteja ocupada atendendo a uma solicitação precedente. Um esquema de relocação de unidades pode ser usado durante os períodos com alta taxa de demanda, para reposicionar os veículos disponíveis de modo que o sistema responda com uma melhor performance as futuras chamadas. As regras de despacho são responsáveis pelo balanceamento das necessidades normais, procurando antecipar necessidades de chamadas futuras.

### 3) MODELOS DE LOCALIZAÇÃO ESPACIAL

Os modelos de distribuição espacial, de maneira geral foram concebidos de maneira a minimizar distâncias ou custos, porém apresentam algumas desvantagens quando aplicados em sistemas de atendimento emergencial. Somente em problemas com demanda uniforme em toda a região de estudo é que se admite o uso apenas da distância como elemento definidor da distribuição das facilidades, assim como é questionável a utilização de custos monetários para avaliação de situações onde estão envolvidas perdas de vidas, ferimentos e bens de pessoas, além de muitos custos indiretos (Drezner, [1995])

Os principais modelos de distribuição espacial mais citados na literatura são o da p-mediana, o do p-centro e o dos conjuntos de cobertura (Mirchandani, et Reilly, [1987] e Love, [1988]).

No modelo p-mediana, o número de facilidades ( $p$ ) é um dado exógeno, ou seja, pré-estabelecido, procurando-se distribuí-las de modo que o maior número de pessoas tenha acesso às facilidades, dentro de uma distância máxima estabelecida, com o menor *custo do incidente* possível (este custo pode ser: tempo de viagem, tempo resposta, prejuízos decorrentes de um incêndio ou de um acidente, etc.) ou, em outras palavras, procura-se minimizar a soma dos custos de transportes associados com  $p$  facilidades.

O modelo de distribuição espacial com p-mediana pode matematicamente ser expresso como:

$$\text{Minimizar } Z = \left( \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m d_{ij} x_{ij} a_i \right) \quad (1)$$

Onde:  $m$  - é o número de zonas

$n$  - é o número de locais viáveis para a localização da facilidade;

$y_j$  - distrito onde está instalada a facilidade sendo = 1 se uma viatura (unidade) é baseada no local  $j$ , ou 0 nos demais casos

$x_{ij}$  = 1 se a facilidade no local  $j$  atende a zona  $i$ , 0 nos outros casos;

$d_{ij}$  é o "custo" de atender a zona  $i$  a partir da estação  $j$ .

$a_i$  = fator de ponderação do custo para atender o distrito  $i$ .

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n y_j = p \quad (2)$$

Significa que o número  $p$  de unidades a serem localizadas é pré-fixado

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (3)$$

Garante que todos os distritos serão atendidos por uma unidade de emergência;

$$y_j \geq x_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Assegura que a zona  $i$  pode ser servida apenas por unidades estabelecidas, isto é, se  $x_{ij}=1$  então  $y_j$  também deve ser igual a 1.

$$y_j, x_{ij} \in (0,1) \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Além disso, se algum distrito  $j$ , por algum motivo anteriormente estabelecido, deve possuir uma unidade de emergência, por exemplo um quartel já existente no caso de viaturas de socorro de urgência do corpo de bombeiros, fixa-se o correspondente  $y_j$  para ser 1; enquanto que, se não for possível se local a facilidade naquele local, deve-se fixar  $y_j$  para ser igual a zero.

Observa-se que o número de facilidades  $p$  é dado exogeneamente, o que pode ser considerado como uma simplificação. O ideal é fazer uma ligação explícita entre o número de facilidades e os “custos” decorrentes dos acidentes (pessoas feridas ou mortas, perda do patrimônio). Este procedimento é muito conveniente para ser utilizado nos países mais pobres onde o número de unidades de emergência é quase sempre inferior ao necessário para atender à demanda.

Uma outra consideração prática pode requerer que pelo menos  $c$  das facilidades existentes localizadas no conjunto  $C$  dos locais viáveis, devam permanecer no novo projeto. Torna-se necessário, então, uma restrição adicional.

$$\sum_{y_j \in C} y_j \geq c \quad (6)$$

Outra família de modelos de localização é a utiliza uma estratégia *Minimax* para localizar facilidades ou unidades. Neste caso o objetivo não é minimizar o custo total, mas sim minimizar o máximo custo (por exemplo a máxima distância) que algum ponto de demanda pode incorrer. Formalmente o problema pode ser expresso como:

$$\text{Min } Z \quad (7)$$

Onde:

$$Z \geq d_{ij} x_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

Esta formulação é também chamada de problema *p-centro*.

Os modelos de conjuntos de cobertura também podem ser utilizados. Este modelos determinam a localização ótima das instalações de acordo com uma ou mais medidas de performance. Para resolvê-los utiliza-se programação inteira binária, como segue:



$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^n y_j \quad (9)$$

No presente trabalho desenvolveu-se um modelo misto, ou seja, para dar um caráter mais equitativo para o problema de distribuição de unidades de serviços de atendimento emergencial em rodovias, resolve-se o problema pelo método das p-medianas porém inclui-se como restrições adicionais algumas das características dos modelos p-centro e conjuntos de cobertura..

Ou seja, nos problemas de p-medianas o objetivo é minimizar as distâncias médias entre a facilidade instalada e o local do incidente, o que pode deixar alguns distritos mais afastados e com pouca probabilidade de acidentes sem nenhuma proteção ou com um tempo resposta esperado muito alto, o que não acontece quando se resolve o problema utilizando a estratégia do p-centro, que visa minimizar a maior distância entre o local do acidente e o da viatura. Para resolver este inconveniente incluiu-se uma restrição de que nenhum distrito deva ficar mais afastado do que uma distância máxima preestabelecida.

A restrição acima também induz a adicionar uma das características dos modelos de conjuntos de cobertura, que inclui na solução do problema tantas facilidades quantas sejam necessárias para atender uma determinada exigência como, por exemplo, tempo resposta máximo. Assim, no modelo desenvolvido neste trabalho, que tem como base a estratégia p-medianas em que o número de unidades de serviço é pré fixado, este número de unidades vai crescendo até que se atinja um padrão de atendimento mínimo, no qual todos os distritos ficam “cobertos” por aquele tempo resposta máximo.

#### 4) O MODELO PROPOSTO

Consideremos uma via de comprimento  $L$ , representada por um segmento de reta  $OL$ . Dividimos  $OL$  em  $m$  pequenos segmentos (átomos) de comprimento  $L/m$ . Sejam  $y_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$  a posição do centróide do átomo  $j$  e  $\lambda_j$  a taxa de acidentes correspondente.

Suponhamos que  $n$  veículos de socorro devam ser posicionados sobre  $OL$ , sendo  $x_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , sua posição. Consideremos que as chamadas de cada átomo  $j$  sejam atendidas pela unidade  $i$  mais próxima de  $j$ .

Para determinar a posição das unidades, o seguinte problema de formulação é formalizado:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \lambda_j Z_{ij} |x_i - y_j| \quad (10)$$

Sujeito a:  $Z_{ij} = 1$  se  $i$  é a unidade mais próxima de  $j$  e  $= 0$  em caso contrário.

Observa-se que a equação (10) coincide com a equação (1), na qual  $|x_i - y_j|$  é a distância da unidade  $i$  até o átomo  $j$  e  $\lambda_j$  o “peso de ponderação” ou proporção de acidentes e, portanto, procuramos

minimizar a distância total viajada pelas viaturas de emergência até os locais dos acidentes, supondo que todas as chamadas são atendidas pelo veículo de socorro mais próximo (Gonçalves, 1995).

Uma vez formulado o problema (1), com as devidas restrições (2), (3), (4), (5) e (6), procuramos obter uma solução a analisar a performance da solução obtida.

Convencionamos que as unidades  $x_i, i = 1, 2, \dots, n$  podem ser posicionadas em qualquer ponto sobre a rodovia, representada pelo segmento  $OL$  sobre um eixo coordenado. Assim, as variáveis  $x_i$ , que satisfazem

$$0 \leq x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_i \leq \dots \leq x_n \leq L$$

São variáveis contínuas no intervalo  $[0, L]$

Existem basicamente três métodos para resolver o problema, a saber:

- Enumeração exaustiva;
- Programação matemática e
- Aproximações heurísticas.

O processo de enumeração exaustiva requer o cálculo da função objetivo para cada combinação possível de  $p$  nos  $n$  locais viáveis para implantação das facilidades. No entanto o número de combinações de  $p$  em  $n$  locais pode ser muito elevado, apesar de que nem todos os locais possíveis para a instalação das unidades seja viável em função do conjunto de restrições. Portanto o método da enumeração exaustiva pode requerer um volume de cálculos excessivo.

É evidente que o processo de busca exaustiva garante o melhor esquema de localização dos equipamentos, porém em sistemas com elevado número de distritos e várias unidades a distribuir, o número de combinações possíveis assume um valor tão elevado que o tempo de processamento se torna tão elevado que inviabiliza sua utilização.

Aproximações por programação matemática não estão prontamente disponíveis para problemas do tipo formulado neste trabalho, pois, se por um lado, a função objetivo é não linear, com desenvolvimento complicado em função das variáveis de decisão, por outro, o número de restrições e variáveis de decisão é muito grande, mesmo em problemas de tamanho moderado.

Existem diversas aproximações heurísticas para resolver o problema. Uma que é mais facilmente aplicável no modelo que se pretende implementar neste trabalho é a proposta por Teitz e Bart in Reilly (1983), conhecido como "*site-substitution approach*".

Essencialmente, este método inicia com um conjunto semente de pontos, estes são substituídos um a um no tempo, trocando-se os pontos dentro do conjunto corrente por pontos fora do conjunto corrente. Se a substituição de um determinado ponto viável para a instalação da facilidade, reduz o valor da função objetivo, então o novo local é incluído e o local antigo é eliminado do conjunto corrente. Este processo continua até que nenhuma substituição conduza a um decréscimo de valor da função objetivo.

Notar que o conjunto final de pontos depende do conjunto semente inicialmente escolhido. É conveniente, por isso, executar o procedimento várias vezes, cada uma usando um novo conjunto

semente de pontos, que pode ser a combinação obtida na interação precedente, selecionando-se o melhor conjunto final de locais, a partir destas diversas execuções. Cada conjunto de locais semente, poderá, também, ser gerado aleatoriamente ou ser selecionado por um especialista ou pelo administrador ou por alguma pessoa que conheça muito bem o sistema.

No desenvolvimento do modelo computacional todas as restrições previstas no modelo matemático foram consideradas, assim:

- a) O número de unidades ou equipamentos a serem alocados é pré-fixado, dependendo da disponibilidade destes equipamentos e do tempo resposta máximo admitido pelo sistema.
- b) Todos os distritos são atendidos por, pelo menos, uma unidade de serviço. O programa também indica por ordem, considerando o critério de menor distância, quais as unidades mais próximas ao local do incidente caso a unidade de serviço alocada a este distrito esteja ocupada atendendo a uma outra ocorrência.
- c) Todos os distritos são atendidos por, pelo menos, uma unidade de serviço localizada numa distância ou com um tempo resposta inferior a um valor máximo admissível e pré-estabelecido.
- d) Admite-se a hipótese de que, independentemente do processamento da função objetivo, alguns distritos devem obrigatoriamente conter uma unidade de serviço. É o caso, por exemplo, de quartéis ou postos já instalados, onde a administração possa entender que o prejuízo de retirar a facilidade pode ser maior que o benefício geral de relocá-la.
- e) Ao contrário da restrição anterior, também é prevista a possibilidade de se restringir a alocação da instalação do equipamento em algum determinado distrito. Isto pode acontecer, por exemplo, para o caso de regiões onde não exista local disponível para construir um posto para abrigar a unidade de serviço, ou para regiões que estão muito afastados do núcleo que concentra o maior número de usuários em potencial, e cuja possibilidade de ocorrer acidentes seja desprezível.

Neste trabalho foram propostos critérios práticos para distribuir as viaturas de atendimento emergencial numa rodovia. Utilizou-se, além do critério da distância entre os diversos centróides distritos, informações relativas e a probabilidade de ocorrerem incidentes em cada um destes distritos.

Adotou-se um “peso” que pondera o valor das distâncias entre cada zona, ou seja, os distritos com maior probabilidade de acidentes que demandem atendimento emergencial, são privilegiados na distribuição espacial das viaturas.

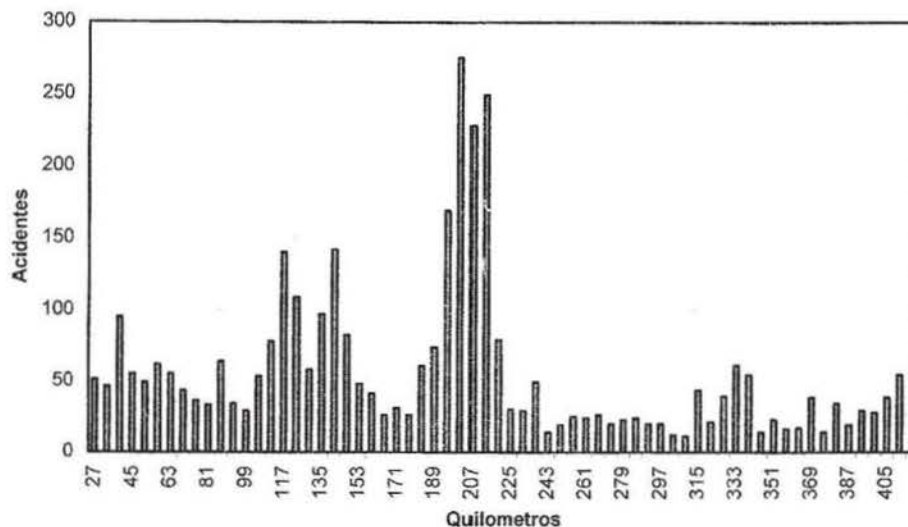
## 5). APLICAÇÃO PRÁTICA

Como exemplo de aplicação prática está se propondo a otimização da distribuição de viaturas de socorro médico emergencial tipo Anjos do Asfalto existentes no Estado de São Paulo, no trecho compreendido entre os quilômetros 24 e 414 da rodovia BR 101. Esta rodovia corta o Estado de Santa Catarina no sentido norte - sul pelo litoral e hoje é a mais importante rodovia do Estado, servindo de ligação entre o Rio Grande do Sul e os países do Mercosul com o restante do Brasil. Em alguns trechos



seu trânsito médio diário supera a 20.000 veículos e, conseqüentemente, a um elevado número de acidentes, com mortos e feridos. Segundo o DNER, no trecho catarinense da BR 101, nos últimos anos, em média, cerca de 450 pessoas morreram e 3.000 ficaram feridas por ano. Estes números mostram a urgência de se estabelecer um serviço permanente de atendimento emergencial na via.

A figura 1 apresenta os dados de uma pesquisa realizada no ano de 1994, mostrando o número de acidentes de trânsito em cada trecho de 6 km da BR 101, no qual observa-se que alguns segmentos apresentam maior probabilidade de acidentes, estes segmentos, normalmente, são regiões onde a estrada corta a área urbana de cidades e, devido ao maior fluxo, geram um maior número de ocorrências e, portanto, devem merecer um tratamento especial, privilegiando a instalação de veículos de socorro.



**Figura 1:** Número de acidentes em cada trecho da BR 101/SC no ano de 1994  
(Fonte DNER e Polícia Rodoviária Federal)

A análise do modelo descrito pela equação (1) foi feita considerando-se um trecho de 390 quilômetros da BR 101/SC, que foi dividido em 65 átomos ou distritos de 6 km cada um. O centróide de cada átomo foi localizado no ponto médio do mesmo. A taxa de acidentes  $\lambda_j$  foi considerada como uma função proporcional ao número de acidentes em cada átomo. Esta variação se dá de forma linear adquirindo valores entre 1 e 2,  $\lambda$  recebendo o valor 1 no átomo com menor número de acidentes e o valor 2 no átomo com o maior número. Os pesos  $\lambda$  dos demais átomos tem valores intermediários.

A idéia deste trabalho é distribuir espacialmente a localização dos veículos por toda a região de estudo, de modo a diminuir o tempo resposta para atendimento. Com isso as equipes teriam condições de chegar muito mais rapidamente aos locais dos sinistros, pois sempre estariam baseados num raio mais próximo destes.

Adotou-se que o tempo resposta máximo das viaturas de socorro médico não deva ultrapassar a 25 minutos e que a velocidade média destes veículos, com sirene ligada, pode ser considerada como de 80 km/hora, o que leva a admitir, um afastamento máximo entre as unidades de 66 quilômetros.

## 6 - PROCESSAMENTO DOS DADOS E RESULTADOS ALCANÇADOS:

Caso a demanda pelas unidades emergenciais fosse uniforme, ou seja, se todos os átomos tivessem a mesma probabilidade de ocorrência de acidentes, poderia se adotar uma distância fixa entre os veículos. Seriam necessárias apenas 6 equipes e sua localização poderia ser a apresentada na tabela 1:

Com aquela distribuição e definindo-se as áreas de influência de cada viatura, calcula-se o tempo resposta médio de cada uma destas áreas. Considera-se como tempo de resposta médio o resultado da distância que a viatura deve percorrer para atender aos distritos a ela atribuídos, dividido pela velocidade média de cada um destes distritos, ponderada em relação ao número médio de ocorrências.

**Tabela 1:** distribuição uniforme das unidades de atendimento emergencial

Veículo número	Posição na via	Jurisdição				Distância percorrida	Tempo resposta	
		Início	Final	Abrang.	Acidentes		máximo	médio
Nº 01	km 57	km 24	km 90	66 km	589	9504 km	24,8 min.	12,1 min.
Nº 02	km 123	km 90	km 156	66 km	870	11922 km	24,8 min.	10,3 min.
Nº 03	km 189	km 156	km 222	66 km	1259	19854 km	24,8 min.	11,8 min.
Nº 04	km 255	km 222	km 288	66 km	283	4848 km	24,8 min.	6,2 min.
Nº 05	km 321	km 288	km 354	66 km	318	4650 km	24,8 min.	11,0 min.
Nº 06	km 387	km 354	km 414	60 km	287	4434 km	22,5 min.	11,6 min.
Total						55512 km	24,8 min	11,5 min.

Na realidade, como existem átomos ou distritos com uma probabilidade de acidentes muito superior a outros, o critério de distribuição não pode ser o apresentado acima. Para resolver o problema, usou-se o modelo proposto neste trabalho, que privilegia os átomos onde o número de chamadas é mais elevado.

Adotando-se instalar o mesmo número de viaturas (seis) que foram suficientes para atender o sistema caso a demanda fosse uniforme, teríamos a seguinte distribuição:

**Tabela 2:** Distribuição de 6 unidades de socorro pelo método proposto

Veículo número	Posição na via	Jurisdição				Distância percorrida	Tempo resposta	
		Início	Final	Abrang.	acidentes		máximo	médio
Nº 01	km 51	km 24	km 90	66 km	589	9486 km	29,3 min.	12,1 min.
Nº 02	km 129	km 90	km 165	75 km	937	14184 km	29,3 min.	11,4 min.
Nº 03	km 201	km 165	km 222	57 km	1192	10332 km	27,0 min.	6,5 min.
Nº 04	km 243	km 222	km 276	54 km	236	3252 km	24,8 min.	10,3 min.
Nº 05	km 309	km 276	km 342	66 km	328	6234 km	24,8 min.	14,3 min.
Nº 06	km 375	km 342	km 414	72 km	324	6402 km	29,3 min.	14,8 min.
Total						49890 km	29,3 min.	10,4 min

Constata-se que os veículos ficaram mais próximos dos pontos onde ocorre a maioria dos acidentes, no entanto, mesmo resultando numa redução na distância total percorrida pelas viaturas e uma melhora no tempo médio de resposta, que passou de 11,5 para 10,4 minutos, não foi atendida a restrição de tempo

resposta máximo que atingiu a 29,3 minutos, pois alguns átomos ficaram com a uma distância superior a 33 km da unidade mais próxima. É necessário, portanto, que seja adicionada uma nova viatura ao sistema.

No processamento do programa de alocação espacial, com a região de estudo dividida em 65 átomos. O número mínimo de guarnições necessárias para atender as restrições foi de 7 equipes. Para este número rodou-se o programa de alocação espacial diversas vezes, alterando-se sempre o conjunto semente., verificou-se que o resultado levou ao esquema apresentado na tabela número 3, demonstrando que o processo heurístico é eficiente.

**Tabela 3** - Distribuição de 7 unidades pelo modelo proposto.

Veículo número	Posição na via	Jurisdição				Distância percorrida	Tempo resposta	
		Início	Final	Abrang.	acidentes		máximo	médio
Nº 01	km 51	km 24	km 81	57 km	525	7182 km	22,5 min.	10,3 min.
Nº 02	km 111	km 81	km 138	57 km	662	8334 km	22,5 min.	9,4 min.
Nº 03	km 165	km 138	km 183	45 km	457	7302 km	20,3 min.	12,0 min.
Nº 04	km 201	km 183	km 231	48 km	1133	9270 km	22,5 min.	6,1 min.
Nº 05	km 261	km 231	km 291	60 km	244	3792 km	22,5 min.	11,7 min.
Nº 06	km 321	km 291	km 354	63 km	298	4050 km	22,5 min.	10,2 min.
Nº 07	km 387	km 354	km 414	60 km	287	4434 km	24,8 min	11,6 min.
Total						44364 km	24,8 min	9,2 min.

Verifica-se que a distância total percorrida pelas viatura caiu 20%, o que, no mínimo, representa uma diminuição substancial no custo do sistema e que pode compensar o valor da viatura adicional, porém, o mais importante é que o tempo resposta médio caiu para 9,2 min. o que levará a uma possibilidade muito maior de salvar vidas e diminuir a gravidade e as seqüelas dos feridos.

Estes tempos também serviram como base para avaliar a capacidade média de atendimento das viaturas, ou seja, considerando o tempo utilizado em cada emergência é possível se calcular quantos chamados em média cada guarnição poderá atender por dia. No caso apresentado seria interessante que o posto de trabalho número 4, que tem sob sua responsabilidade a região mais crítica da BR 101/SC, contasse com duas viaturas, o que permitiria que carga de trabalho das equipes fosse mais eqüitativa.

Como nos modelos deste trabalho introduziu-se a restrição de que o sistema trabalharia com uma baixa probabilidade de fila, considerou-se o tempo resposta como o parâmetro de avaliação da performance do sistema ou seja, como distribui-se as viaturas de maneira que o atendimento das chamadas seja muito rápido, a possibilidade de ocorrerem duas chamadas no mesmo período é muito pequena e, por isso, na maior parte do tempo as guarnições ficam ociosas porém de prontidão, o que é uma das características dos sistemas de atendimento emergencial..

## 7 - CONCLUSÃO:

O modelo apresentou bons resultados, distribuindo as viaturas de maneira que pode-se obter um menor tempo resposta para atendimento das emergências na rodovia. No exemplo, como era esperado, a distribuição privilegiou os distritos que apresentam maior probabilidade de acidentes.

Alternativas de modelagem estão sendo desenvolvidas para planejar também a expansão temporal do sistema, isto é, considerando-se que a demanda pelos serviços emergenciais tende a aumentar com o tempo, é necessário determinar-se “quando” o sistema ou alguma das viaturas atingirá o nível de saturação, e, então, não estará atendendo as chamadas com a eficiência desejada. Este é o momento de se instalar uma nova unidade. Além disso estão sendo propostas metodologias para evitar que a carga de trabalho de algumas equipes de atendimento não seja, proporcionalmente, muito superior às outras.

Concluindo pode-se afirmar que existe uma carência muito grande de metodologias que visem otimizar os serviços de atendimento emergencial, principalmente em países mais pobres, onde a carência de estatísticas confiáveis dificulta a tarefa dos pesquisadores. Compete à universidade criar mecanismos simples, práticos e eficientes para otimização destes sistemas e apresentá-los para a sociedade que, em última análise, é quem decidirá se a solução proposta para minimizar os problemas é de seu interesse ou não tendo em vista que sempre os recursos são escassos e a opção de empregá-los em um projeto ocasionará uma retração nas disponibilidades financeiras para os demais projetos e obras..

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Ball, M. O. and LIN, F. L. (1993). A reliability model applied to emergency service vehicle location. *Operations Research*, vol. 41, pp. 18-36.
- Brodsky, H. (1992). Emergency medical rescue in fatal road accidents. *Transportation Research Record*, nº 1270, pp 89-96.
- Gonçalves, M. B., Novaes, A. G. e Schmidt, R. (1995). Um modelos para localizar unidades de serviços emergenciais em rodovias. *Anais do IX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, São Carlos, vol. 3, pp. 962-972
- Larson, R.C. e Odoni, A.R. (1981). *Urban Operations Research*. Prentice-Hall, New York.
- Larson, Richard C. (1975). Approximating the performance of urban emergency service systems. *Operations Research*, vol. 23, nº 5 ., Pp. 845 - 868.
- Love, R. F. e Morris, J. G. (1988) *Facilities Location - models & methods*, Elsevier Science Publishing Co. New York..
- Mirchandani, P.B. e Reilly, J.M (1987). *Spatial Distribution Design for Fire Fighting Units.in Spatial analysis and location-allocation models*. pp 186-223. Von Nostrand Reinhold Company Inc. New York...
- Novaes, A.G. (1978) *Métodos de Otimização, Aplicação aos Transportes*: Editora Edgard Blücher , São Paulo,.
- Reilly, J. M. (1983). *Development of a fire station placement model with consideration of multiple arriving units*. Thesis Ph.D., Rensselaer Polytechnic Institute, New York..
- Souza, João Carlos & Novaes, Antônio.G. (1996). *Dimensionamento, localização e escalonamento temporal de serviços de emergência*. Tese de doutorado. Depto de Engenharia de Produção, UFSC. Florianópolis, SC. pp. 332-337
- Drezner, Zvi . (1995) . *Facility Locations: A survey of applications and methods*. Ed. Springer. New York.

### Autor:

João Carlos Souza - jcsouza@arq.ufsc.br - fone 048 331 9393

### Endereço:

Universidade Federal de Santa Catarina  
Caixa postal 476, Campus Universitário  
88040-900 - Florianópolis, SC