

## MEDIDAS DE EFICIÊNCIA PARA O SERVIÇO DE ATENDIMENTO PRÉ-HOSPITALAR MÓVEL

*Dirac Cordeiro*<sup>1</sup>

*Gauss Moutinho Cordeiro*<sup>2</sup>

### RESUMO

Num trabalho sobre “Strategies for Sizing Service Territories”, Rosenfield *et al.* (1989) relata que as deficiências do serviço de atendimento pré-hospitalar móvel nos Estados Unidos foram o foco da primeira de uma série de artigos sobre as emergências hospitalares publicados por médicos na cidade de Nova York. Também menciona que os custos dos serviços das unidades prestadora de serviço é um fator importante que podem ser minimizados em função da eficiência do serviço. Incentivar a melhoria do serviço é aumentar as chances de vida do paciente. No entanto, esses custos praticamente não podem ser ignorados quando comparados com os custos médicos crescentes. Uma vez que cada território de serviço - ZA tem um recurso ( $U_s$ ) que serve como um serviço. O problema da determinação de territórios de serviço - ZA requer também a determinação da localização do posto de serviço das  $U_s$ , bem como, do número de instalações desses postos. Como em cada ZA são adicionadas mais serviços, dessa maneira a organização do sistema torna-se muito menos centralizada, porém os custos fixos provenientes das instalações desses postos devem subir. Por outro lado, as unidades de serviços ( $U_s$ ) estando mais perto do atendimento, os indicadores de eficiência e eficácia melhoram compensando o aumento dos custos fixo. Logo, a descentralização contribui com menos unidades ( $U_s$ ), para uma mesma qualidade de serviço.

**Palavras-chave:** População Usuária; Tempo de Viagem; Tempo Resposta; Tempo Máximo Resposta; Unidade de Serviço; Teoria das Filas; Processo Poissoniano; Zona de Atendimento; Leitos Hospitalares; Distribuição e Otimização das  $U_s$ ; Fator de Ociosidade da  $U_s$ .

---

<sup>1</sup>Professor Doutor. Universidade Federal de Pernambuco e Universidade de Pernambuco.  
Email [dmc@poli.br](mailto:dmc@poli.br).

<sup>2</sup>Professor Doutor. Universidade Federal de Pernambuco.

## **EFFICIENCY MEASURES FOR CUSTOMER SERVICE MOBILE PRE-HOSPITAL**

### **ABSTRACT**

In a work about Strategies for Sizing Service Territories , Rosenfield et al. (1989) mentions that the costs of service of the units undertaking the service is an important factor which can be minimized thanks to the efficiency of the service . Encouraging the improvement of the service is to increase the life chances of the patient. However, its costs practically can not be ignored when compared with the increasing medical costs. Since each service territory ZA has a resource ( $U_s$ ) which serves as a service, the problem of determining areas of service also requires determining the location of the service station of the  $U_s$ , as well as, the number of installations of these stations. Since in each ZA more services are added, in this manner, the organization of the system becomes much less centralized, although the set costs deriving from the installations of these stations should rise. On the other hand, the service units ( $U_s$ ) being closer to the assistance, the efficiency and efficacy indicators improve compensating the increase of the set costs. Therefore, decentralization contributes with fewer units ( $U_s$ ) for the same quality of service.

**Keywords:** User Population; Travel Time; Response Time; Maximum Response Time; Service Unit; Queue Theory; Poissonian Process; Service Zone; Hospital Beds; Distribution and optimization of Service Units ( $U_s$ ); Idle Factor.

**Artigo Recebido em 18/08/2022 e Aceito em 23/01/2023**

## **1. INTRODUÇÃO**

O atendimento pré-hospitalar móvel é um serviço de assistência individualizada e especializada, fora dos estabelecimentos hospitalares. O intuito desse tipo de serviço é maximização dos atendimentos visando à manutenção da vida. Esse tipo de atendimento tem como finalidade chegar ao usuário – indivíduo sinistrado em uma determinada região R no menor tempo resposta após a ocorrência do evento; sendo necessário a prestação adequada do atendimento. O meio de transporte das remoções para os estabelecimentos hospitalares é feito por uma unidade de serviço – Us.

O aumento substancial na curva do valor esperado dos atendimentos ao longo do tempo é fato notório, decorrente principalmente do crescimento do número de sinistros de trânsito com traumatismos diversos. Estudos relativos à determinação do período de tempo para atingir equilíbrio da demanda, ou seja, período entre os acréscimos de capacidade em sistemas de transportes foram consolidados por Manne (1961), que considerou a tendência da demanda explicada por uma função linear, tanto determinística como estocástica. Srinivasan (1967) adequou a metodologia de Manne para a expansão da capacidade, admitindo um crescimento geométrico para a modelagem da demanda.

Freidenfelds (1980) introduziu para a modelagem da demanda em diversos sistemas de transporte, os conceitos de teoria das filas e estudou o problema de expansão da capacidade do sistema de transporte como um processo aleatório de nascimento e morte, mostrando que é possível se adaptar o modelo estocástico de crescimento da demanda para um modelo determinístico. Souza (1996) aplicou esta teoria para prever a expansão dos sistemas de atendimento emergencial.

## **2. O PROBLEMA**

A necessidade premente da concepção de um modelo de transporte, para o serviço de atendimento pré-hospitalar móvel, que responda adequadamente, por meio de indicadores, a qualidade desse serviço público é realmente de suma importância, especialmente, porque o atendimento pré-hospitalar móvel no Brasil vem crescendo nos últimos anos de forma geométrica e, nas últimas décadas, vem ocupando o primeiro lugar em sinistros de trânsito (OLIVEIRA & SOUZA, 2003) – um dos principais eventos que demanda esse serviço público.

Na grande maioria desses serviços ofertados, nas principais cidades do Brasil, a estrutura de atendimento baseia-se fundamentalmente numa remoção do sinistrado de forma desorganizada sem o prévio conhecimento dos leitos que estão disponíveis nos estabelecimentos hospitalares. Dessa maneira, formam-se verdadeiros corredores de indivíduos sem o prévio conhecimento de onde ficar.

A modelagem integrada aos estabelecimentos hospitalares – atendimento emergencial e remoções inter-hospitalares, apesar de ser um serviço de mercado estritamente restrito, à medida que novas soluções vão sendo desenvolvidas, novos conhecimentos vão sendo agregados a um custo cada vez menor (GOLDBERG, 2004).

Faz parte de uma política de urgência e emergência regionalizada, capaz de atender, dentro da região de abrangência, todo enfermo, em situação de urgência ou emergência, e transportá-los com segurança, com acompanhamento de profissionais da saúde até o atendimento hospitalar.

Dessa maneira as Centrais de Regulação que contém os Postos ou Estações de serviço representam o elemento ordenador e orientador dos Sistemas Estaduais de Urgência e Emergência. Essas Centrais devem ser

estruturadas em todos os níveis, organizando a relação entre os vários serviços, qualificando o fluxo dos pacientes no Sistema e gerando uma porta de integração aos estabelecimentos hospitalares, por meio dos quais os pedidos de socorro são recebidos, avaliados e hierarquizados. Estas regras devem ser seguidas por todos os serviços, sejam públicos ou privados.

Estima-se, que a rede nacional, conta com 16 Serviços de Transporte para Atendimento Pré-Hospitalar Móvel (152 Centrais SAMU-192 e com 27 Laboratórios de Ensino em Procedimentos de Saúde para os Núcleos de Educação em Urgência). Ao todo, 1.384 municípios são atendidos, num total de 100 milhões de pessoas.

### **3. ABRANGÊNCIA DAS VARIÁVEIS PARA OS ATENDIMENTOS PRÉ-HOSPITALAR MÓVEL**

O perfil da mortalidade se alterou ao longo das últimas décadas, tanto no Brasil, quanto no mundo. Se por um lado, a melhoria das condições sanitárias e os progressos da medicina reduziram as mortes por vários tipos de doenças, a massificação do automóvel, o sedentarismo, a longevidade e a violência urbana, dentre outros fatores, criaram ou acentuaram urgências médicas provenientes dos traumas (sinistros de trânsito) e clínicas (sinistros cardiovasculares), que por sua vez levam ao óbito as vítimas (TAKEDA, 2002).

Porém, muitas dessas mortes poderiam ser evitadas se o atendimento à vítima ocorresse nos primeiros instantes após a ocorrência da causa da urgência médica, pois esse tempo é determinante para a sua sobrevivência (ELLIOT, 2000).

Esse tempo depende basicamente do número de unidades Us e da

localização das estações ou postos de serviço, onde são alocadas essas unidades. Obviamente, quando se aumenta a quantidade de *Us* disponíveis, o tempo médio para atendimento de um acidente na emergência decresce substancialmente, caso as unidades estejam favoravelmente distribuídas na região *R*, com base num critério estritamente científico.

A regulamentação americana para esse tipo de serviço estabelece que 95% das solicitações numa dada região *R* de uma área urbana devem ser atendidas em cerca de 14 e 10 minutos, sendo este tempo estendido para 30 minutos no caso de *R* está situada numa região rural (BALL & LIN, 1993). Para os serviços de atendimento pré-hospitalar móvel, nas cidades de Londres e Montreal, 95% das solicitações atendidas devem ser servidas entre 14 e 10 minutos, respectivamente (GEANDREAU ET AL., 2001).

No caso do Brasil, a Portaria N.1864 de 29/09/2003 determina o limitante superior de 30 min para o tempo resposta.

Para estabelecimento desses limites, faz-se necessário definir uma distribuição para as *Us* por meio de modelos estatísticos que considerem todas as variáveis inerentes para o pleno desenvolvimento do serviço de atendimento pré-hospitalar móvel, tais como: tempo, distância, taxas de acidentes, número de leitos dos estabelecimentos hospitalares, tamanho das zonas de atendimento e a população usuária por atendimento daquela região.

Sabe-se, que os serviços de atendimento pré-hospitalar móvel apresentam um alto grau de incerteza em suas características operacionais e, quanto maior for o grau de incerteza imputado, maior será a necessidade de respostas rápidas; sendo assim, menor será o fator de utilização das *Us* e, conseqüentemente, a qualidade do serviço ofertado

aos usuários pode ser deteriorada.

A demanda crescente deu visibilidade ao serviço para atendimento pré-hospitalar móvel, que pode ocorrer em duas etapas distintas; uma pré-hospitalar móvel ou fixo, que acontece em vias e locais públicos ou no domicílio da vítima e outra em hospitais, com setores especializados. O sucesso desse atendimento depende, também, do motorista, do enfermeiro e, sobretudo da unidade de serviço (Us), exigindo-se que ela seja aparelhada para o atendimento no meio da rua e durante todo o trajeto até a internação. A funcionalidade técnica da Us é tão importante quanto a velocidade de remoção (DASKIN, 1989).

Os problemas relacionados ao transporte no setor público tendo como variável de interesse a localização são classificados em duas divisões: a primeira refere-se aos serviços não emergenciais, onde estão inseridos a localização de escolas, as agências de correio e meio-ambiente, tendo como foco principal a localização de suprimento de água e como facilidades os depósitos de lixo – aterros sanitários. A segunda divisão refere-se aos serviços de emergência, onde estão incluídos a localização de hospitais interligados aos serviços de atendimento por unidades de serviço (Us), devidamente distribuídos nas estações ou postos de serviço. Tanto para a primeira como para a segunda divisão, a medida de eficiência com base nos indicadores a serem otimizados são diferentes.

Pode-se citar, a título de exemplo, que para os serviços emergenciais uma medida bastante usada é a maximização da utilização da Us ou a minimização do tempo resposta (TR), entre qualquer usuário do sistema de transporte e o estabelecimento hospitalar mais próximo.

A modelagem matemática para o serviço de atendimento pré-hospitalar móvel pode ser considerada adequada se é capaz de

estabelecer com razoável precisão indicadores – criação de medidas de eficiência para o sistema, que permitam ao gestor ordenar as soluções, concluindo o processo decisório. Esses indicadores devem possibilitar inferir os efeitos provenientes das mudanças introduzidas em certas variáveis explicativas do sistema. Essas mudanças devem refletir diretamente na “performance” do sistema. A esse diagnóstico, denomina-se de análise de sensibilidade; que é de suma importância para melhor avaliar quantitativamente e qualitativamente a eficiência/eficácia do sistema.

Essa fase é talvez a mais relevante, pois são elaborados os modelos formados por um conjunto de equações e inequações. Uma das equações tem a função de medir a eficiência para a solução proposta, que a princípio deve ser única, no que se refere à otimização a ser atingida.

Modelos probabilísticos foram desenvolvidos, considerando a natureza estocástica dos eventos (sinistros), como o fato das Us operarem como servidores em um sistema de filas e algumas vezes não estão disponíveis para operação, como ocorreu no estudo de caso elaborado por Goldberg *et al.* (1990) e Ching (1997).

Outros modelos de localização de serviços de emergência buscam em geral prover cobertura a áreas de demanda. A noção de cobertura implica na definição de restrição do modelo, uma distância ou tempo de serviço, que representa a distância ou tempo crítico além do qual a área de demanda é considerada não coberta. Exemplificando, uma área de demanda é, portanto, considerada coberta se está a uma distância menor do que a distância crítica de pelo menos uma das Us existente, independente de a Us estar ou não disponível quando o serviço é demandado.

Segundo Silva (1991) não existe um modelo capaz de captar toda a

realidade do funcionamento do sistema. O modelo será adequado quando o seu desempenho é próximo da realidade.

Logo, a eficácia do serviço de transporte para atendimento pré-hospitalar móvel é fator determinante para aumentar as chances de sobrevivência e recuperação das vítimas. Além do ato médico em si, existem vários aspectos relacionados ao grafo da operação, que vão desde o fluxo informacional, posicionamento de facilidades até o deslocamento das Us, que são determinantes para o sucesso dessa atividade.

Segundo o Ministério da Saúde - MS (2005), 55,2% dos atendimentos são clínicos sendo os mais graves: insuficiência respiratória, tontura, desmaio, infarto, angina, hipertensão e derrame cerebral; 21,7% dos atendimentos são devidos aos traumas dos tipos: sinistro automobilístico, queimadura, traumatismo craniano, choque elétrico, ferimento por armas; e 10,1% dos atendimentos são provenientes de causas psiquiátricas (surto psicótico, tentativa de suicídio, depressão), trabalho de parto e hipertensão.

Pela relevância da sua cobertura, o serviço de atendimento pré-hospitalar realizado no Brasil é hoje reconhecido pela Organização Mundial de Saúde – OMS como sendo um dos maiores sistemas de transporte de atendimento público de saúde do mundo. Para maximizar a eficiência com relação ao atendimento, faz-se necessário procurar espalhar adequadamente as Us de uma cidade, visando minimizar o tempo resposta, definido como o tempo entre a chamada das Us e a sua chegada no local do acidente. O mais grave é que, em geral, entre o recebimento da chamada na central de triagem ou posto de serviço e o envio da unidade de serviço - Us, algum tempo é perdido inutilmente por falta de um sistema operacional perfeito na central de triagem.

A Tabela 3.1 apresenta a série temporal por região do número de leitos hospitalares para cada 1.000 habitantes.

**Tabela 3.1:** *Evolução do Número de Leitos Hospitalares por 1.000 Habitantes.*

Regiões	Público			Privado			Total		
	1990	1999	2005	1990	1999	2005	1990	1999	2005
Brasil	0,9	0,9	0,8	2,8	2,1	1,6	3,7	3,0	2,4
Norte	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2	0,8	2,2	2,2	1,9
Nordeste	0,9	1,1	1,1	2,0	1,7	1,2	2,9	2,8	2,3
Sudeste	0,9	0,8	0,7	3,4	2,3	1,8	4,3	3,1	2,5
Sul	0,7	0,7	0,6	3,5	2,6	2,2	4,2	3,3	2,8
Centro-Oeste	1,2	1,0	1,0	3,3	2,5	1,7	4,5	3,5	2,7

**Fonte:** IBGE – 2008: Pesquisa Assistência Médico-Sanitária – AMS

O número de leitos disponíveis por mil habitantes no Brasil está aquém da orientação da Organização Mundial da Saúde (OMS). Os últimos levantamentos, datados de 2009, mostram que a oferta corresponde a uma média de 2,4 leitos por mil habitantes ou 2,1 para 1000 no SUS e 2,6 para mil entre os beneficiários de planos de saúde. O índice faz parte do Painel Saúde em Números, relatório semestral elaborada pela Associação Nacional de Hospitais Privados (Anahp).

O índice preconizado pela OMS é de 3 a 5 leitos para cada mil habitantes. Japão e Alemanha, por exemplo, tem média de 13,7 e 8,2 leitos para 1000 habitantes, respectivamente. Nos Estados Unidos a média é de 3 leitos para mil habitantes. Rondônia é o estado brasileiro de maior número de leitos a cada mil habitantes, possui índice semelhante à Turquia

(2,65) e superior a outros países em desenvolvimento como México e Peru (1,5 e 1,6), respectivamente. Sergipe, o estado cujo número de leitos a cada mil habitantes é o menor do país, possui números semelhantes ao de países como Paraguai (1,3), Quênia (1,4) e Indonésia (1,2). Enquanto São Paulo, o estado mais populoso do Brasil possui índice semelhante ao do Chile, outro país latino-americano em desenvolvimento (2,2);

O levantamento mostra que o Brasil também se mantém abaixo em termos de número médio de leitos por hospitais, com 71 leitos por hospital ante 161 nos Estados Unidos e 119 no Japão.

Em relação aos leitos disponíveis para internação, verifica-se que, no Brasil os 443.210 leitos existentes são distribuídos em: 33% públicos e 67% privados, dos quais 82% são SUS. No Nordeste as cidades de Fortaleza e Recife nessa ordem são as que mais ofertam leitos para internações. Ficando Recife com 8.089 leitos, com a seguinte distribuição: 44% públicos e 56% privados, dos quais 76% são SUS.

Com relação aos dados de população (IBGE, 2019), o Brasil possui no entorno 204 milhões de habitantes dos quais 81% residem em áreas urbanas. Um simples cálculo com base no número de internações nos leva a afirmar, que o valor mínimo para um indivíduo sofrer algum tipo de sinistro nas capitais brasileiras é da ordem de  $4,2 \times 10^{-4}$ .

A região Nordeste é da ordem de  $3,90 \times 10^{-4}$ , enquanto a região Sudeste é da ordem de  $4,03 \times 10^{-4}$ . O tempo médio de hospitalização – TMH no Brasil é de 6,96 dias, enquanto no restante das regiões varia entre o mínimo de 5,67 dias (Norte) ao máximo de 8,04 dias (Nordeste).

#### **4. A GESTÃO DA CAPACIDADE EM SERVIÇOS DE ATENDIMENTOS**

Para satisfazer às necessidades dos usuários do sistema, os gestores dos serviços de atendimento pré-hospitalar sabem que precisam apresentar um desempenho que supere ou, pelo menos, iguale às expectativas de salvar os sinistrados. Isso significa, por exemplo, que a unidade de serviço (Us) não fique parada na oficina mecânica por falta de peças de reposição ou que o sinistrado não passe por uma espera interminável para ser atendido na sala de emergência de um hospital. Para ter um bom desempenho, em situações como essas, o prestador do serviço precisa ter capacidade.

A capacidade do sistema é o potencial produtivo de um processo. É o número de “atendimentos” que um sistema de serviços pode realizar em uma dada unidade de tempo. Ressalta-se a palavra “atendimento” porque ela pode assumir diferentes significados, dependendo do tipo de serviço que está se considerando. Assim, a capacidade do sistema formado pelo centro emergencial de um hospital pode significar o número de atendimentos/procedimentos cirúrgicos devido a traumas, que podem ser realizadas em um dia. Esse exemplo serve, também, para mostrar a complexidade e, muitas vezes, a subjetividade presente na medição da capacidade de um sistema.

Os usuários do sistema de atendimento pré-hospitalar móvel, que se dirigem a um estabelecimento hospitalar podem ter demandas distintas, o que faz com que cada atendimento seja diferente do outro em termos de tempo de atenção ao sinistrado (alguns procedimentos cirúrgicos são mais simples e outras mais complexos). O mesmo se pode dizer dos atendimentos feitos pela Us (rotas distintas, distâncias diferentes, condições de recebimento variáveis). Por sua vez a capacidade de um

processo fica determinada pelos recursos de que o sistema dispõe para desempenhar as suas atividades. Pessoas (número e habilidades), equipamentos, espaço, estoques, veículos etc. são exemplos de recursos que determinam a capacidade de prestação de um serviço.

A gestão da capacidade em um sistema prestador de serviços, principalmente, o serviço público para atendimento pré-hospitalar é um dos principais desafios gerenciais. Para muitos especialistas, em temas de serviços, a forma como a capacidade é gerida pode implicar na insustentabilidade econômica e ineficiência do serviço. Isto porque o dimensionamento da capacidade afeta o desempenho da empresa prestadora do serviço, pois tem impacto nos investimentos e nos custos operacionais.

O equilíbrio perfeito entre oferta e demanda quase nunca é alcançado, mas existem estratégias que permitem uma adequada gestão da capacidade nesses serviços, assim como alguns mecanismos que possibilitam, no curto prazo, aproximar capacidade a demanda, reduzindo as situações de excesso ou de falta de capacidade.

#### **4.1 Estratégias básicas para a gestão da capacidade em serviços de atendimento Pré-Hospitalar Móvel.**

Existem basicamente duas estratégias para gerir a capacidade em serviços. A primeira consiste em “perseguir” a demanda. Se a demanda aumenta, a capacidade aumenta; se diminui, a capacidade também diminui. Essa estratégia é conhecida na literatura como “Demanda Atendida”. Já segunda estratégia consiste em fixar a capacidade em um nível capaz de atender a um determinado percentual da demanda máxima esperada. É a estratégia de nível de serviço.

Essa decisão sobre o nível de serviço deve levar em conta a essencialidade e a existência, ou não, de serviços substitutos. A grande impedância dessa estratégia é o custo da ociosidade dos recursos quando a demanda é inferior ao nível de capacidade fixado. Assim, por exemplo, se um hospital está preparado para atender em 24 horas todos os pacientes que chegarem até as 18 horas de determinado dia, necessita de uma capacidade superior a um outro hospital que diz atender em 24 horas apenas os pacientes provenientes de determinada área geográfica. Certamente, o primeiro dispõe de mais recursos, sejam elas pessoas, unidades de serviço (Us) ou tecnologia. Seu custo estrutural deve ser maior, mas talvez isso lhe dê possibilidade de atender a pacientes em estado mais grave.

O Nível de Serviço pode ser entendido, então, como a probabilidade de que a demanda máxima prevista é satisfeita (FITZSIMMONS, 2001). Decidir qual a parcela da demanda máxima que o sistema pretende significa determinar o Nível de Serviço oferecido a sociedade. Uma vez decidido o nível de serviço, a empresa prestadora do serviço dimensiona os recursos necessários para atender àquele nível.

Na prática, o nível de serviço costuma ser definido de acordo com a natureza do serviço prestado, ou seja, o tempo decorrido entre a chegada de um paciente num hospital e o momento de ser atendido por um profissional de saúde.

Existem abordagens quantitativas para determinar o percentual ótimo da demanda máxima, ou seja, o nível de serviço. Um dos métodos que tem merecido mais atenção na literatura é a análise incremental entre o custo de faltar capacidade e o custo de sobrar capacidade. Este método propõe que a empresa deve aumentar o nível de capacidade até o ponto

em que o retorno esperado gerado pelo incremento marginal exceda a perda esperada para o último atendimento.

## **5. ZONEAMENTO: DIVISÃO DA REGIÃO URBANA EM ZONAS DE ATENDIMENTOS OTIMIZADAS – ZAs**

O Serviço para o atendimento pré-hospitalar pode tratar uma cidade como uma única região urbana de atendimento ou estratificá-la em zonas urbanas de atendimentos. Para o primeiro caso, uma única estação ou posto serve como central de triagem – o local é usado como distribuidor das *Uss* e, nesse caso, o paciente é removido para o estabelecimento hospitalar mais próximo do local onde se encontra o usuário do sistema. O segundo caso, em cada zona de atendimento é alocado um estabelecimento hospitalar, tais como, público e privado do município e do estado, do Sistema Único de Saúde (SUS) e seus conveniados. Todos esses estabelecimentos hospitalares são de interesse do qualquer modelo de atendimento pré-hospitalar móvel.

Desse modo, a modelagem a ser abordada para o modelo de atendimento, uma região é a representação de toda a área urbana da cidade e as zonas urbanas de atendimentos (ZAs) funcionam como elementos de áreas da região que contém uma organização hospitalar. Em suma, cada uma das zonas de atendimentos é definida em função da minimização do tempo resposta (TR) – tempo entre a chamada da *Us* e sua chegada ao paciente. Esse é o objetivo único para garantir a vida do sinistrado.

Uma das formas mais simples para definição dos formatos das ZAs é formatar as zonas em figuras geométricas próximas de um círculo e quadrados, plotando o estabelecimento hospitalar no centro da figura de

modo a conseguir o menor tempo de viagem. Sabe-se pela geometria Euclidiana, que entre todos os quadriláteros de mesmo perímetro, o quadrado é a figura plana que estabelece a menor distância esperada entre dois pontos escolhidos aleatoriamente dentro dele.

Cada estabelecimento hospitalar possui uma estação – posto de serviço das unidades de serviço  $Us$  ou simplesmente posto de serviço, com a finalidade de atender exclusivamente aos chamados dentro da zona de atendimento correspondente.

Logo, esse procedimento produz uma homogeneização do serviço prestado, bem como uma melhor utilização do pessoal que trabalha nas  $Us$ . Esse sistema onde vários servidores são distribuídos nas  $ZAs$  propicia a criação de um sistema de filas em cada estação (posto) de  $Us$  de modo a atender as chamadas com prioridade “First in First out (FIFO)”. Para o dimensionamento desse sistema de filas se parte da premissa que todas as chamadas são classificadas como emergência; não levando em consideração aquelas desnecessárias ou perdidas.

O sistema é destinado a atender exclusivamente a emergência usando como meio de transporte as unidades de serviço ( $Us$ ) e tem duas peculiaridades bastante relevantes: a primeira refere-se ao regime de filas das  $Us$  e a segunda ao seu tempo de viagem ( $TV$ ).

O uso da teoria das filas tem como principal objetivo reduzir a zero a probabilidade que a chamada permaneça na fila por certo período de tempo muito próximo a zero. Nesse sentido, a base teórica para o uso da teoria das filas é estabelecer equações visando o dimensionamento do número de  $Uss$ , que são denominados de servidores. Esse dimensionamento visa reduzir ao máximo o tempo médio de espera na fila  $W$  ou seja, dimensionar as  $Us$  de modo a tornar  $W$  bastante reduzido em

relação ao tempo de viagem. Sendo assim, faz-se necessário aumentar o tempo ocioso e reduzir o fator de utilização  $\rho$ .

Ao se fazer essa busca aumentar a ociosidade por meio da redução da utilização  $\rho$  de modo a se ter  $W \equiv 0$  é incorrer em custos maiores, principalmente, aqueles imputados ao capital e à mão de obra.

No que tange ao capital a depreciação é o de maior peso. Entretanto, o custo referente à mão de obra o seu aumento é decorrente da baixa utilização do motorista, principalmente na sua apropriação em relação as horas paradas. Esse é sem dúvida o preço a ser pago em virtude de reduzir  $W \equiv 0$ .

Com relação ao tempo de viagem, o objetivo é escolher uma formatação geométrica para a zona de atendimento  $ZA$  de modo a minimizar o  $E(TV)$ . Como o tempo de espera na fila  $W \equiv 0$ , então, o tempo de viagem  $TV$  participa majoritariamente no cálculo do  $TR = W + TP + TV$ , sendo  $TP$  o tempo gasto por uma unidade de serviço  $Us$  partir, isto é, o tempo entre a ocupação da  $Us$  até a sua saída da estação. Admitindo que todas as  $Us$  que prestam serviço de atendimento pré-hospitalar a uma determinada cidade são alocadas em uma única estação de triagem – único posto de serviço ( $Us$ ) – tem-se um efeito, que é a não redução do  $TR$  em virtude do tamanho/dimensão da área de atendimento do serviço pois, mesmo se alterando o número de  $Us$ , o rebote sobre o tempo resposta  $TR$  é mínimo. Dessa maneira, torna-se inviável tratar toda a região urbana da cidade como sendo uma única zona de atendimento; uma única estação ou posto de triagem para distribuir todas as unidades de serviço ( $Us$ ).

Ao abandonar a hipótese de concentrar todas as  $Us$  em um único posto de serviço para despacho da  $Us$ , parte-se para distribuir as  $Us$  em

ZAs. Sendo assim, o tempo de viagem TV sofre modificações em função das características geométricas das ZAs.

Dessa forma, faz-se necessário construir ou adequar os modelos existentes, que propicie estabelecer uma relação matemática entre o tempo de viagem TV com as características geométricas das ZAs.

Há vários estudos que analisam políticas de despacho de sistemas de atendimento pré-hospitalar móvel, como em Savas (1969) e Takeda *et al.* (2004, 2007), que mostram de forma clara, que a descentralização das unidades de serviço pode melhorar a eficiência de um sistema de atendimento pré-hospitalar móvel, por meio da redução substancial do tempo médio resposta  $E(TR)$  aos usuários sinistros.

A concepção de um modelo de filas é garantir que pelo menos uma unidade de serviço  $Us$  esteja disponível para atendimento ao chamado; com isso, tem-se condição de calcular a probabilidade para essa garantia. Para o modelo geométrico faz-se a distribuição do tempo de viagem TV segundo essa garantia, minimizando o valor esperado do tempo resposta  $TR$  de modo a verificar a compatibilidade de uma ZA.

Dessa maneira, a busca da maximização da eficiência para o serviço de atendimento pré-hospitalar usando  $Us$  dar-se-á segundo as premissas explicadas pelas equações abaixo:

$$E(TR) = E(TP) + E(TV) \leq TMR \quad (1)$$

$$e \quad W \equiv 0, \quad (2)$$

em que TMR representa o tempo máximo resposta especificado para qualquer da ZA, conforme o formato geométrico que conduz a um  $E(TR)$  mínimo.

“As capitais brasileiras são divididas em regiões administrativas, que no caso da cidade do Recife, denomina-se de Regiões Políticas Administrativas (RPAs) englobando vários bairros e, cuja densidade populacional é constante”. Essa densidade constante  $d$  em torno de 6.458  $hab/Km^2$  ou de 65  $hab/ha$  (quociente entre a população de 1.422.905  $hab$  adensados numa área de 21.964 ha).

A pequena área urbana de Recife – em torno de 220  $Km^2$  – possui 254 estabelecimentos de saúde pública considerando os conveniados com o SUS mais os privados sem fins lucrativos (IBGE, 2015). Dos 254 estabelecimentos, 44 (24 públicos mais 20 privados conveniados com o SUS) são estabelecimentos hospitalares que ofertam internações com atendimentos especializados ou com especialidades diversas. O número médio de hospitais com essas características por RPA é de 7,33.

Em Cordeiro (2012), apresenta-se as equações que estabelecem o  $n_L$  (número de leitos) e  $h$  (população usuária) e vice-versa. ou seja:

$$h = \frac{1}{4} \frac{p}{(1-p)} \left\{ \left[ \sqrt{(\Phi^{-1}(\alpha))^2 + \frac{4n_L}{p}} - \Phi^{-1}(\alpha) \right]^2 \right\}. \quad (3)$$

Assim, para  $n_L > 40$  e fazendo a probabilidade de um indivíduo sofrer um sinistro  $(1 - p)$  variar no intervalo de  $4, 2 \times 10^{-4}$  a  $1, 0 \times 10^{-2}$  tem-se na equação anterior uma forma muito prática de se calcular  $h$ , não precisando utilizar o método iterativo de Newton - Raphson. No caso de interesse – não faltar leitos,  $\alpha = 1$ . Substituindo  $\Phi^{-1}(1) \geq 4$  na equação, o valor de  $h$  fica em função de  $n_L$  e  $p$  vice-versa.

$$n_L \geq 4\sqrt{h(1-p)p} + h(1-p).$$

O valor da população usuária máxima (demanda máxima)  $h_{mx}$  é calculado considerando a igualdade e, portanto:

$$h_{mx} = \frac{(\sqrt{4p + n_L} - 2\sqrt{p})^2}{(1-p)}.$$

Essas equações definem que: partindo do número de leitos  $n_L$  do estabelecimento hospitalar e dos parâmetros estimados ( $\lambda$ ,  $\mu$ ) onde  $\lambda$  é a taxa média de sinistro – entrada no sistema e  $\mu$  é a taxa média de usuários fora de atendimento; e, para uma dada cidade, determina-se a população máxima usuária desse hospital ( $h_{mx}$ ), com confiabilidade especificada de não faltar leitos ( $\alpha$ ). Com os dados característicos da RPA – população distribuída uniformemente na ZA e a partir da densidade populacional  $d$  ( $hab/ha$  ou  $hab/Km^2$ ) de uma RPA, que contenha a ZA determina-se a sua área  $A$  e, buscando minimizar, o valor esperado do tempo de viagem  $E(TV)$  estabelece o seu contorno geográfico. Em caso das RPAs serem muito grandes, pode haver distorção no cálculo de  $d$ . Sendo assim divide-se cada RPA em ZAs disjuntas de modo que a união delas constitui um revestimento da RPA considerada.

Logo, está se considerando a divisão das RPAs em ZAs e não a divisão de toda a cidade como um todo. Essa metodologia abordada visa basicamente:

- 1) Manter a mesma quota de chamadas ao longo de toda a área a ser dividida ( $d = cte$ );
- 2) Cada uma das RPAs conterá um número pequeno de hospitais (por exemplo, variando de 1 a 5 hospitais) e, assim, pode-se mais

facilmente dividir as ZAs com um traçado mais rigoroso das fronteiras entre todas as zonas de atendimentos.

Nos casos em que a ZA for extensa, não satisfazendo a equação (1), a mesma deve ser dividida em subzonas (SZAs), onde cada uma das subzonas corresponde a um posto da unidade de serviço  $Us$  e cada  $Us$  do posto efetuará o seu serviço nessa subzona e com todas as  $Us$  conduzindo seus pacientes para o hospital da ZA considerada. Em suma, cada subzona é um subespaço contido dentro do espaço geométrico da zona de atendimento.

O estudo de Savas (1969) simulou cerca de 180 mil chamadas ao longo de 4 anos de operação do sistema de transporte para atendimento pré-hospitalar móvel, alocadas de duas maneiras:

- 1) Entre o posto de serviço do hospital e um posto satélite – fora do hospital.
- 2) Concentrada somente no posto de serviço do hospital.

Quando as unidades de atendimento foram distribuídas na primeira situação – posto do hospital e posto satélite, o efeito da eficiência foi significativo, isto é, o tempo resposta  $TR$  foi bem menor do que quando as unidades de serviço estavam totalmente concentradas no posto do hospital. O assintotismo ocorreu, isto é, a partir de um certo valor aumentando o número de unidades de atendimento pré-hospitalar móvel no posto do hospital nenhuma redução no  $E(TR)$  ocorreu. Assim, para um número total de unidades vislumbrou-se a ocorrência de uma distribuição ótima nas quantidades entre o posto do hospital e o posto satélite, que minimizava o  $E(TR)$ . Por exemplo, para um total de 10 unidades de serviço ( $Us$ ), 6 foram alocadas para o posto satélite. Na cidade de Nova York em 1967 – Savas

(1969), o valor de  $n_s/\text{Hosp} = 2,22$ ; sendo o numerador da fração a quantidade de unidades de serviço ( $Us$ ) e o denominador a quantidade de hospitais públicos.

A Tabela 5.1 apresenta o total de  $Us$  para as cidades de Recife, Fortaleza, Salvador, Belo horizonte e Curitiba. Observe, que em relação ao total de estabelecimentos de saúde inseridos na área urbana das cidades todos os valores referentes ao número de  $Us$  por estabelecimento públicos são sempre maiores que 1. Agora, considerando os estabelecimentos saúde oficiais (públicos mais os privados conveniados com o SUS) que ofertam internações a relação decresce para valores menores de 1. Dessa maneira, as estações das  $Us$  definidas como satélites podem ser na maioria das vezes os próprios estabelecimentos de saúde.

**Tabela 5.1:** *Relação  $Us \times$  Estabelecimentos de Saúde/Hospital.*

Cidade	$n_s/\text{Estab. Saúde Oficiais}$	$\underline{n_s}/\text{hab}$
Recife	1,035857	0,000175
Fortaleza	1,256545	0,000103
Salvador	1,048632	0,000131
Belo Horizonte	1,1875	0,000162
Curitiba	1,02518	0,000165

Em média Recife, para cada zona ZA, e considerando somente estabelecimentos hospitalares oficiais tem-se um valor de 2,97 unidades de serviço pré-hospitalar móvel ( $Us$ ), para cada posto de atendimento. Essa divisão feita de forma não científica nos leva a cometer erros de dimensionamento.

Para evitar sobrevalores e subvalores nos dimensionamentos, faz-se necessário definir uma metodologia para dimensionamento das  $Us$  com base na formatação das zonas de atendimento e nas variáveis TECSUs(Tempo

entre Chamadas Sucessivas das Unidades de Serviço - Us) e TECSUs (Tempo entre Entrada Sucessiva do Paciente na Hospitalização usando como Transporte a Unidade de Serviço – Us). Vale lembrar, que o dimensionamento do sistema está vinculado as condições: a)  $E(TR) = E(TP) + E(TV) \leq TMR$  e b)  $W \equiv 0$ .

Ao considerar a cidade como sendo uma única ZA com um único posto de unidades de serviço, a condição  $E(TR) = E(TP) + E(TV) \leq TMR$  não se verifica na grande maioria dos casos, em virtude das variáveis TECSUs (Tempo Entre Entradas Sucessivas na Hospitalização usando a Us) e TECSUs (Tempo Entre Chamadas Sucessivas da Us) serem pequenas em relação ao TS. Agora, para os leitos hospitalares, é mais viável em termos econômicos dimensionar as quantidades de leitos para toda a população  $h$  da região urbana da cidade. Logo, cada indivíduo da zona de atendimento pode hospitalizar-se em qualquer hospital da cidade. Essa forma de dimensionamento dos leitos é muito mais vantajosa do que em relação a dimensionar o número de leitos para as populações das  $j$  zonas, ou seja, cada indivíduo hospitalizando-se somente nos hospitais da zona correspondente, de modo a satisfazer a condição  $\sum_{i=1}^j h_i = h$ , em que  $h_i$  e  $h$  são as populações da zona de atendimento  $i$  e da cidade, respectivamente.

Para essas duas formas de abordagens visando a quantificação/dimensionamento dos leitos hospitalares, tem-se que garantir para ambas que não haverá falta de leitos. Nesse caso, considera-se a confiabilidade de não faltar leitos  $\alpha = 1$ . Logo, nas duas formas de abordagens o número de leitos  $n_L$  deve ser calculado de formas diferentes, conforme demonstrado em Cordeiro (2018). Observe-se:

$$\text{Caso 1 : } n_{L_1} = h(1-p) + 4\sqrt{p(1-p)}\sqrt{\sum_{i=1}^j h_i} \quad \text{ou} \quad n_{L_1} = h(1-p) + 4\sqrt{p(1-p)}\sqrt{h};$$
$$\text{Caso 2 : } n_{L_2} = h(1-p) + 4\sqrt{p(1-p)}\sum_{i=1}^j \sqrt{h_i}.$$

Como o termo  $\sqrt{\sum_{i=1}^j h_i} < \sum_{i=1}^j \sqrt{h_i}$ , para  $i > 1$ , então  $n_{L_2} > n_{L_1}$ . Para se ter uma ideia da magnitude da diferença entre  $n_{L_2}$  e  $n_{L_1}$ , considere como exemplo uma cidade com 842.000 *hab*, com a probabilidade de um indivíduo sofrer um sinistro  $(1-p) = 0,5\%$ . Suponha, que o dimensionamento do número de zonas de atendimento seja  $j=5$ , sendo cada  $h_i$ , com  $i = 1,2,\dots,5$  sendo dado por:  $h_1 = 130.000$ ,  $h_2 = 195.000$ ,  $h_3 = 260.000$ ,  $h_4 = 156.000$  e  $h_5 = 101.000$ . Após aplicação das equações definidoras de  $n_{L_1}$  e  $n_{L_2}$ , vêm:  $n_{L_1} = 5.335$  leitos e  $n_{L_2} = 5.677$  leitos. Dessa maneira tem-se uma redução de 342 leitos, com uma economia de 6,02%; o que representa um hospital de médio porte. Além do mais, à medida que se aumenta os estratos da área urbana da cidade em ZAs o percentual de economia cresce.

Então, o modelo para atendimento pré-hospitalar móvel deve ter a seguinte característica: sempre um posto de *Us* é localizado num hospital. Essa escolha é principalmente devido aos fatores relacionados abaixo:

- a) Maior facilidade na operação da *Us* pelo hospital que pode se preparar para receber o paciente sinistrado, enquanto a *Us* sai a sua procura. Além do mais, os atuais sistemas de comunicações disponíveis – rádios, computadores de bordo e GPS, são elementos facilitadores na relação de diagnóstico entre o médico do hospital e os paramédicos das *Uss*;

$\sum_{i=1}^j h_i$

- b) As equações  $E(TR) = E(TP) + E(TV) \leq TMR$  e  $W \equiv 0$  podem ser balizadas para cada uma das ZA.

Caso fosse estabelecido uma única central de triagem, com a finalidade única de expedição de todas as *Uss*, e se as *Uss* de qualquer posto da ZA estiverem distribuídas adequadamente por toda a zona correspondente, e se para qualquer chamada a central de triagem expedir a *Us* mais próxima disponível ao ponto do sinistro, tem-se como resposta um maior aperfeiçoamento no serviço prestado pelas *Us* devido a não limitação das áreas de serviço e ao mesmo tempo uma maior redução no TV proveniente da máxima descentralização das *Us* em cada ZA. A própria central de triagem informa à *Us* o hospital mais próximo com leitos disponíveis.

Dentro do atual contexto essas decisões são estritamente viáveis; principalmente, devido a evolução no fator de comunicação. No projeto de “New York”, Savas (1969) comparou o valor esperado  $E(TR)$  calculado na simulação levando em consideração as seguintes distribuições das *Uss*.

1) As *Uss* descentralizadas e atendendo ao chamado a mais próxima disponível.

2) A melhor distribuição – distribuição ótima entre o posto satélite e o posto de serviço do hospital.

No caso de 1) a máxima diminuição no valor do  $E(TR)$  foi cerca de 8%. Isso significa que uma das ZAs com formatos geométricos pré-estabelecidos teve como resposta a minimização do  $E(TR)$ . No caso 2) a conclusão foi que em cada ZA com uma única estação (posto) com poucas *Us*, com atendimento exclusivo no hospital situado na zona de atendimento correspondente requer um maior número de *Us* para propiciar o mesmo nível de serviço, quando comparado com a situação em que as *Us* são

dispersas adequadamente em todas as ZAs da região urbana e com a atribuição de atender o acidentado sempre com a Us disponível mais próxima da ZA.

Após esse breve discernimento sobre o enfoque de distribuição das Us, faz-se necessário estudar de forma ampla as variáveis que interferem nas equações (1) e (2).

## **6. ESTUDO DA VARIÁVEL TEMPO DE VIAGEM – TV**

Um dos aspectos relevantes no planejamento de um sistema logístico é a definição da localização dos pontos que formam uma rede de fornecimento de serviços. Esses pontos são, normalmente, associados a fornecedores, armazéns, depósitos e postos de atendimento de serviços ou quaisquer outros elementos de uma rede para os quais é possível demarcar sua posição geográfica. A definição da posição geográfica desses pontos contribui, sobremaneira, para a redução dos custos de transporte, para a minimização do tempo resposta, para a maximização da satisfação do usuário ou otimização de alguma medida de utilidade que reflita as estratégias a serem adotadas para o serviço de atendimento pré-hospitalar.

Dessa maneira, tem-se que buscar métodos estatísticos de análise que resolvam os problemas de localização geográfica dos pontos de uma rede de atendimentos, medindo de forma robusta as distâncias entre esses pontos e procurando situá-los de forma otimizada sob certas restrições de transporte, tais como tempos e custos.

De início, uma característica relevante na análise de problemas de localização é a restrição de percurso. Quando existem condicionantes de itinerários entre dois pontos, fica-se diante de um grafo, onde os nós são os pontos e os caminhos são os arcos do grafo. A análise do grafo, de uma

forma geral, representa os problemas de localização sob um sistema de transporte em uma malha já definida, onde já se têm determinadas as possibilidades de percursos. Logo, a otimização desses percursos é representado por um grafo, que é abordado por meio da teoria apropriada.

Em aplicações práticas, é comum definir a distância entre dois pontos como o comprimento da trajetória utilizada por determinado meio de transporte. Assim, fala-se em distância da rede urbana e rodoviária, distância ferroviária ou distância aérea. A distância é sempre uma medida positiva e tem a propriedade de que a distância de um ponto A até um ponto B é idêntica à distância de B até o ponto A.

O primeiro passo para o problema de localização dos pontos, onde os postos devem ficar localizados, é a definição da métrica que deve ser usada para inferir as distâncias  $D$  entre os pontos. Existem várias métricas, porém a mais utilizadas são a Métrica Euclidiana (ME) e a Métrica Retangular ou Métrica Metropolitana (MM).

A Métrica Euclidiana adota o princípio de que o caminho mais curto entre dois pontos é uma reta e a mensuração dessa reta é com base na geometria desenvolvida por Euclides. Apesar de ser a métrica ideal, pois trata das medidas reais dos espaços euclidianos, e conseqüentemente apresenta excelentes resultados nas aplicações, há algumas inconveniências computacionais com o uso da métrica euclidiana. O problema de utilizar a transformada de distância com tal métrica para objetos discretizados, nem sempre é algoritmicamente fácil implementá-la, nem seu cálculo computacional é eficiente, já que envolve o cálculo de quadradados e raízes. A segunda – Métrica Metropolitana – é mais abordada em redes de artérias urbanas por ser mais colinear com os traçados perpendiculares dos

vetores que constituem as rotas dos caminhos constituídas pelas ruas e avenidas.

Considere uma  $ZA_i$  escolhida de densidade populacional média  $d$ . Seja essa zona representando a área de serviço onde se situa o posto da  $U_s$  a que denomina-se de posto da  $U_s$  hospitalar ou posto de serviço. Para fazer a aproximação do formato da  $ZA_i$  de área  $A_i$  conhecida pode-se admitir de forma prática a representação da  $ZA_i$  em vários formatos de figuras geométricas planas; um círculo, um quadrado, quadrante de um círculo geométrico, entre outras.

Em sendo assim o estabelecimento hospitalar pode ocupar várias posições dentro da figura geométrica. Considere  $v$  a velocidade média escalar de uma  $U_s$  que deve ser estimada e considerada mínima devido ao percurso da  $U_s$  ser pequeno, ou ser realizado por exemplo na hora do “rush”. Sendo  $D$  a variável aleatória que explica o percurso da  $U_s$  do posto, onde se situa o hospital ( $i$ ) a um ponto qualquer ( $j$ ) da figura geométrica abrangente de  $ZA$ , então a distância  $D_{ij}$  pode ser calculada de duas maneiras. A primeira por meio da equação Métrica Euclidiana (ME) dada por:

$$D_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}. \quad (4)$$

A segunda maneira pela equação Métrica Metropolitana (MM) dada por:

$$D_{ij} = |X_i - X_j| + |Y_i - Y_j|. \quad (5)$$

A equações (4) e (5) representam o cálculo da distância do percurso efetuado pela  $U_s$  entre os nós  $i$  e  $j$ . A primeira equação (ME) é mais fácil de ser calculada nas figuras círculo e quadrante (círculo geométrico), enquanto a segunda (MM) é mais fácil na figura do quadrado, visto que, as coordenadas  $(X_i, Y_i)$  são, também, variáveis aleatórias independentes.

Dentre as equações que mais se aproxima do percurso real é a MM, pois em levantamentos topográficos sempre se toma os eixos coordenados cartesianos paralelos as direções das vias ou ruas principais da zona de atendimento  $ZA_i$  considerada. Pode-se também considerar a equação MM corrigida por um fator de ajustamento ( $F_a$ ), que é função da geometria das ruas da  $ZA_i$  e que pode ser estimado a partir da comparação entre os tempos de viagem observados com os teóricos.

Num trabalho sobre “Strategies for Sizing Service Territories”, Rosenfield et al. (1989) relata que “as deficiências do serviço de atendimento pré-hospitalar móvel nos Estados Unidos foram o foco da primeira de uma série de artigos sobre as emergências hospitalares publicados por médicos na cidade de Nova York. Entre as diversas falhas citadas as relevantes foram:

- 1) má coordenação do serviço da unidade móvel com os serviços hospitalares;
- 2) tempo resposta muito acima do tempo necessário para salvar a vida;
- 3) formação insuficiente do pessoal da unidade móvel;
- 4) os custo do serviço das unidades;
- 5) determinação de territórios zonas de atendimentos de serviço, pois requer determinação do número de zonas e respectiva localização;
- 6) falta de equipamentos adequados.”

Uma vez que cada território de serviço – ZA tem um recurso (Us) que serve como um serviço, o problema da determinação de territórios de serviço – ZA requer também a determinação da localização do posto de serviço das *Uss*, bem como, do número de instalações desses postos. Como em cada ZA são adicionadas mais serviços, dessa maneira a organização do sistema torna-se muito menos centralizada, porém os custos fixos provenientes das instalações desses postos devem subir. Por outro lado, as unidades de serviços (Us) estando mais perto do atendimento, os indicadores de eficiência e eficácia melhoram compensando o aumento dos custos fixo. Logo, a descentralização contribui com menos unidades (Us) para uma mesma qualidade de serviço.

Langevin & Soumis (1989) definem que a largura  $L$  de uma dada região é explicada pela equação  $L = \sqrt{A} - Br$ , em que  $r$  representa a distância do centro da região (Posto ou estação de Serviço ou Posto de serviço da Us Hospitalar) ao ponto onde ocorre o atendimento,  $A$  sendo a área da região e  $B$  um número real.

Assim, para uma dada demanda assumida como uniforme, o tempo de viagem  $TV$  é proporcional a  $r - L$  (ROSENFELD *et al.*, 1989).

A distância sempre será calculada pela métrica euclidiana  $ME$  ou pela métrica metropolitana  $MM$  (LARSON, 1981). O total de horas trabalhadas por dia em cada viagem pode ser definida em termos do número de atendimentos em cada ZA, bem como, ao total de atendimento em todas as zonas. Observe, que o número total de motoristas pode exceder o número de viagens em caso da utilização das Us não serem feitas.

## 7. ESTUDO DA VARIÁVEL ALEATÓRIA D COM BASE NA GEOMETRIA DA ZA

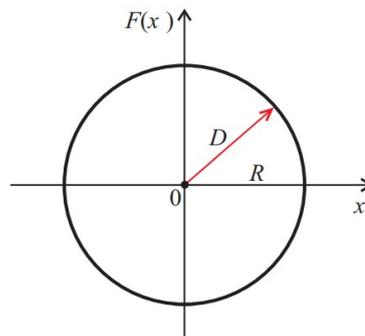
A ZA tem um formato de um círculo de raio R, com o posto da U<sub>s</sub> hospitalar no centro e D pela ME – Figura 7.1

A função distribuição da variável aleatória D é especificada por:

$$F(D) = \frac{D^2}{R^2} \text{ para } 0 \leq D < R \text{ e } F(D) = 1 \text{ para } R \leq D < \infty. \quad (6)$$

Logo, derivando F(D) tem-se  $f(D) = \left(\frac{2D}{R^2}\right)$ . Os cálculos de E(D), V(D) e C seguem abaixo:

$$E(D) = \int_0^R Df(D)dD \text{ ou } E(D) = \int_0^R D \left(\frac{2D}{R^2}\right) dD = \frac{2}{3}R \text{ ou } E(D) = \frac{2}{3}\sqrt{\frac{A}{\pi}} = 0,376\sqrt{A}. \quad (7)$$

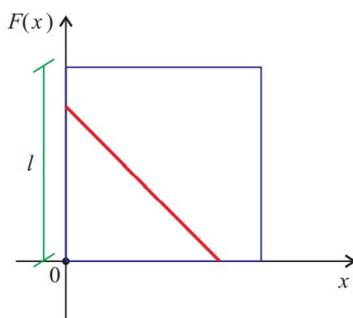


**Figura 7.1:** ZA com Formato de Círculo com Posto da Us Hospitalar no seu Centro.

$$V(D) = E(D^2) - E(D)^2 = \int_0^R D^2 \left(\frac{2D}{R^2}\right) dD - (0,376\sqrt{A})^2 \text{ ou } V(D) = 0,0178 A. \quad (8)$$

$$C = \frac{\sqrt{0,0178 A}}{\sqrt{(0,376)^2 A}} = 0,353. \quad (9)$$

A ZA tem um formato de um quadrado de lado  $l$ , com o posto da Us hospitalar num dos vértices e D pela MM – Figura 7.2



**Figura 7.2:** ZA com Formato de Quadrado com Posto da Us Hospitalar num dos seus Vértices.

O cálculo da métrica de D envolve a construção de uma função distribuição  $F(D)$  entre  $0 \leq D \leq l$  e  $l \leq D \leq 2l$ . Então, para os cálculos das F's considera-se as metades das áreas compreendidas entre os intervalos definidos  $0 \leq D \leq l$  e  $l \leq D \leq 2l$ . Logo, para o quadrado de área  $A = l^2$ , tem-se que:

$$F(D) = \frac{D^2}{2l^2} \text{ para } 0 \leq D \leq l \text{ e } F(D) = \frac{2 - (2l - D)^2}{2l^2} \text{ para } l \leq D \leq 2l. \quad (10)$$

Conhecida as F's deriva-se em relação a D e obtém-se as f.d.p's para cada um dos intervalos. Lembrar, que área no intervalo  $0 \leq D \leq l$  é  $F(D=l) = 0,5$  e a área entre  $l \leq D \leq 2l$  é  $F(D=2l) - F(D=l)$ , que é igual a  $(\frac{1}{l^2} - \frac{2-l^2}{2l^2}) = 0,5$ . Dessa maneira, F é uma verdadeira função distribuição de probabilidade.

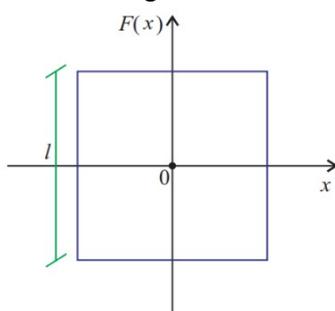
Para os cálculos de  $E(D)$ ,  $V(D)$  e  $C$  deve-se calcular as integrais abaixo.

$$E(D) = \int_0^l D \left( \frac{D}{l^2} \right) dD + \int_l^{2l} D \left( \frac{2l-D}{l^2} \right) dD = l \quad \text{ou} \quad E(D) = \sqrt{A}. \quad (11)$$

$$V(D) = E(D^2) - E(D)^2 = \int_0^l D^2 \left( \frac{D}{l^2} \right) dD + \int_l^{2l} D^2 \left( \frac{2l-D}{l^2} \right) dD - l^2 = \frac{14l^2}{12} - l^2 = \frac{A}{6}. \quad (12)$$

$$C = \frac{\sqrt{\frac{1}{6}A}}{\sqrt{A}} = 0,408. \quad (13)$$

A ZA tem um formato de um quadrado de lado  $l$ , com o posto da  $U_s$  hospitalar no centro e  $D$  pela  $MM$  – Figura 7.3



**Figura 7.3:** ZA com Formato de Quadrado de lado  $l$  com Posto da  $U_s$  Hospitalar no seu Centro.

Para a Figura 7.3, a métrica é calculada com base na função distribuição de  $D$  dada por  $F(D) = \frac{1}{2} \left( \frac{D^2}{l^2} \right)$  para  $0 \leq D \leq l$  e  $F(D) = \frac{1}{2} \left( \frac{2-(2l-D)^2}{2l^2} \right)$  para  $l \leq D \leq 2l$ . Logo, os valores de  $E(D)$ ,  $V(D)$  e  $C$  são obtidos com base nas equações abaixo:

$$E(D) = \frac{1}{2} \int_0^l D \left( \frac{D}{l^2} \right) dD + \frac{1}{2} \int_l^{2l} D \left( \frac{2l-D}{l^2} \right) dD = \frac{1}{2}l \quad \text{ou} \quad E(D) = \frac{1}{2}\sqrt{A}. \quad (14)$$

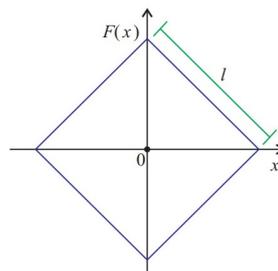
$$E(D^2) = \int_0^l \frac{D^2}{2} \frac{1}{2} \left( \frac{D}{l^2} \right) dD + \int_l^{2l} \frac{D^2}{2} \frac{1}{2} \left( \frac{2l-D}{l^2} \right) dD \quad \text{ou} \quad E(D^2) = \frac{1}{4} \left( \frac{14l^2}{12} \right). \quad (15)$$

$$V(D) = E(D^2) - E(D)^2 = \frac{1}{4} \left( \frac{14l^2}{12} \right) - \frac{1}{4}l^2 \quad \text{ou} \quad V(D) = \frac{1}{24}l^2 = \frac{1}{24}A. \quad (16)$$

$$C = \frac{\sqrt{\frac{A}{24}}}{\sqrt{\frac{A}{4}}} = \sqrt{\frac{1}{6}} = 0,408. \quad (17)$$

Observe-se que os cálculos de  $E(D)$  e  $V(D)$  são imediatos; bastando pra isso, substituir nas equações (11) e (12) o valor de  $A$  por  $\frac{A}{4}$ .

A ZA tem um formato de um quadrado de lado  $l$ , com o posto da  $U_s$  hospitalar no centro, com giro de 45 graus em relação ao eixo horizontal e  $D$  pela  $MM$  – Figura 7.4



**Figura 7.4:** ZA com Formato de Quadrado com Posto da Us Hospitalar no seu Centro, Rotacionado 45° graus.

A metade da diagonal do quadrado é dada por  $l\frac{\sqrt{2}}{2}$ . Logo, a função distribuição da variável aleatória  $D$  é  $F(D) = \frac{(D\sqrt{2})(D\sqrt{2})}{l^2}$  para  $0 \leq D \leq l\frac{\sqrt{2}}{2}$  e zero para outros valores de  $D$ . A função densidade  $f(D) = \frac{dF(D)}{dD} = \frac{4D}{l^2}$ .

Dessa maneira, a média, a variância e o coeficiente de dispersão são calculados pelas

expressões abaixo:

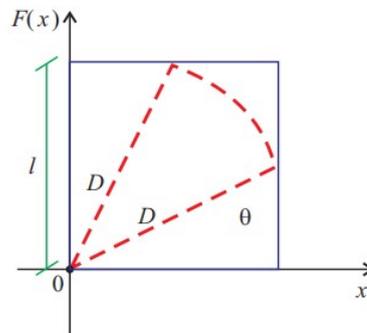
$$E(D) = \int_0^{l\frac{\sqrt{2}}{2}} D \left( \frac{4D}{l^2} \right) dD = \frac{\sqrt{2}}{3}l = \frac{\sqrt{2}}{3}\sqrt{A}. \quad (18)$$

$$E(D^2) = \int_0^{l\frac{\sqrt{2}}{2}} D^2 \left( \frac{4D}{l^2} \right) dD = \frac{l^2}{4} = \frac{A}{4}. \quad (19)$$

$$V(D) = E(D^2) - E(D)^2 = \frac{l^2}{4} - \frac{2l^2}{9} = \frac{l^2}{36} = \frac{A}{36}. \quad (20)$$

$$C = \frac{\sqrt{\frac{A}{36}}}{\frac{\sqrt{2A}}{3}} = \frac{1}{2\sqrt{2}} = 0,353. \quad (21)$$

A ZA tem um formato de um quadrado de lado  $l$ , com o posto da  $U_s$  hospitalar no vértice e  $D$  pela  $ME$  – Figura 7.5



**Figura 7.5:** ZA com Formato de Quadrado com Posto da Us Hospitalar no Vértice e D pela ME.

Para o intervalo de variação  $0 \leq D \leq l$ , a função distribuição da variável aleatória  $D$  é  $F(D) = \frac{\pi D^2}{4l^2}$ ; e, para o intervalo  $l \leq D \leq l\sqrt{2}$  a métrica  $D = (1 - \frac{\pi}{4}) l\sqrt{2}$ . Os cálculos de  $E(D)$ ,  $V(D)$  e  $C$  são apresentados a seguir:

$$E(D) = \frac{\pi}{4} \int_0^l D \left( \frac{2D}{l^2} \right) dD + l\sqrt{2} \left( 1 - \frac{\pi}{4} \right) = \left[ \frac{2\pi}{12} + l\sqrt{2} \left( 1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] \quad (22)$$

ou  $E(D) = 0,8273\sqrt{A}$ .

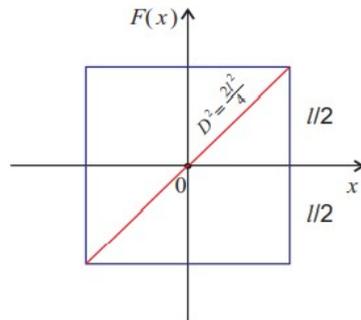
$$E(D^2) = \frac{\pi}{4} \int_0^l D^2 \left( \frac{2D}{l^2} \right) dD + (l\sqrt{2}) (l\sqrt{2}) \left( 1 - \frac{\pi}{4} \right) = l^2 \left[ \frac{2\pi}{16} + 2 \left( 1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] \quad (23)$$

ou  $E(D^2) = 0,8225 A$ .

$$V(D) = E(D^2) - E(D)^2 = 0,8225A - (0,8273\sqrt{A})^2 = 0,1381 A. \quad (24)$$

$$C = \frac{\sqrt{0,1381 A}}{0,8273\sqrt{A}} = 0,4492. \quad (25)$$

A ZA tem um formato de um quadrado de lado  $l$ , com o posto da  $U_s$  hospitalar no centro e  $D$  pela  $ME$  – Figura 7.6 Um resultado bastante aproximado para se obter os valores de  $E(D)$ ,  $E(D^2)$ ,  $V(D)$  é usar nas equações (22), (23) e (24) o termo  $\left(\frac{A}{4}\right)$  no lugar de  $A$ . Os resultados são apresentados a seguir:



**Figura 7.6:** ZA com Formato de Quadrado com Posto da  $U_s$  Hospitalar no Centro e  $D$  pela  $ME$ .

$$E(D) = 0,8273\sqrt{\frac{A}{4}} = 0,41365\sqrt{A}. \quad (26)$$

$$E(D^2) = 0,8225 \left(\frac{A}{4}\right) = 0,20562 A. \quad (27)$$

$$V(D) = E(D^2) - E(D)^2 = 0,20562 A - (0,41365\sqrt{A})^2 \quad \text{ou} \quad V(D) = 0,03451 A. \quad (28)$$

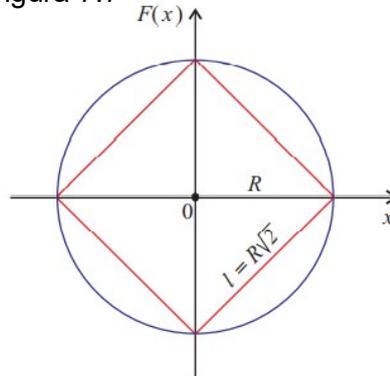
$$C = \frac{\sqrt{0,03451A}}{0,41365\sqrt{A}} = 0,4492. \quad (29)$$

$$E(D) = 0,8273\sqrt{\frac{A}{4}} = 0,41365\sqrt{A}. \quad (26)$$

$$E(D^2) = 0,8225 \left(\frac{A}{4}\right) = 0,20562 A. \quad (27)$$

$$V(D) = E(D^2) - E(D)^2 = 0,20562 A - (0,41365\sqrt{A})^2 \quad \text{ou} \quad V(D) = 0,03451 A. \quad (28)$$

A ZA tem um formato de um círculo de raio  $R$ , com o posto da  $U_s$  hospitalar no centro e  $D$  pela  $MM$  – Figura 7.7



**Figura 7.7:** ZA com Formato de um Círculo de raio  $R$  com Posto da  $U_s$  Hospitalar no Centro e  $D$  pela  $MM$ .

Considere o círculo circunscrito ao quadrado de lado  $R\sqrt{2}$ . A função distribuição é para é dada por:  $F(d) = \frac{2}{\pi} \frac{D^2}{R^2}$  para  $0 \leq D \leq R$  e a métrica  $D = (1 - \frac{2}{\pi}) R\sqrt{2}$  para  $R \leq D \leq R\sqrt{2}$ . A relação entre as áreas do quadrado e do círculo é  $\frac{(R\sqrt{2})^2}{\pi R^2} = \frac{2}{\pi}$ .

As expressões para  $E(D)$ ,  $V(D)$  e  $C$  são:

$$E(D) = \frac{2}{\pi} \int_0^R D \left( \frac{2D}{R^2} \right) dD + \left( 1 - \frac{2}{\pi} \right) R\sqrt{2} = R \left[ \frac{4}{3\pi} + \frac{2\sqrt{2}}{\pi} + \sqrt{2} \right] \quad (30)$$

ou  $E(D) = 0,938\sqrt{A}$ .

$$E(D^2) = \frac{2}{\pi} \int_0^R D^2 \left( \frac{2D}{R^2} \right) dD + (R\sqrt{2}) (R\sqrt{2}) + \left( 1 - \frac{2}{\pi} \right) \quad (31)$$

$$= R^2 \left[ \frac{1}{\pi} + 2 \left( 1 - \frac{2}{\pi} \right) \right] \quad \text{ou} \quad E(D^2) = 1,0445 A.$$

$$V(D) = E(D^2) - E(D)^2 = 1,0445A - (0,938\sqrt{A})^2 = 0,1646 A. \quad (32)$$

$$C = \frac{\sqrt{0,1645 A}}{0,938\sqrt{A}} = 0,4325. \quad (33)$$

**Tabela 7.1:** Análise das Métricas de  $D$  em Função da Geometria das ZAs

Geometria da ZA	Localização do Posto	Métrica	$E(D)$	$V(D)$	$C$
Círculo de Raio $R$	Posto da $U_s$ Hosp. no Centro	ME	$0,376\sqrt{A}$	$0,0178 A$	0,353
Quadrado de lado $l$	Posto da $U_s$ Hosp. num Vértice	MM	$\sqrt{A}$	$0,1666 A$	0,408
Quadrado de lado $l$	Posto da $U_s$ Hosp. no Centro	MM	$0,500\sqrt{A}$	$0,0416 A$	0,408
Quad. de lado $l \angle 45$ graus	Posto da $U_s$ Hosp. no Centro	MM	$0,4714\sqrt{A}$	$0,0277 A$	0,353
Quadrado de lado $l$	Posto da $U_s$ Hosp. num Vértice	ME	$0,8273\sqrt{A}$	$0,1381 A$	0,4492
Quadrado de lado $l$	Posto da $U_s$ Hosp. no Centro	ME	$0,4136\sqrt{A}$	$0,0345 A$	0,4492
Círculo de Raio $R$	Posto da $U_s$ Hosp. no Centro	MM	$0,938\sqrt{A}$	$0,1646 A$	0,4325

Ao analisar a Tabela 7.1, verifica-se que para o  $D$  calculado pela MM a forma geométrica para ZA, que responde com um menor,  $E(D) = 0,4714\sqrt{A}$ , menor  $V(D)$  e  $C$ , é o quadrado de lado  $l$  com giro de 45 graus em relação ao eixo horizontal e posto da  $U_s$  hospitalar situado no seu centro. Observe-se, para qualquer métrica, a figura do quadrado de lado  $l$  com posto hospitalar no centro responde também com um valor máximo para  $E(D) = 0,500\sqrt{A}$ . Logo, pode se concluir, que a figura geométrica de  $M_n(E(D))$  mínimo possui também um  $M_n(D_{mx})$ . Dessa maneira, se se procura minimizar  $E(D)$ , está minimizando ao mesmo tempo  $D_{mx}$ .

## 8. A DIVISÃO DA RPA DE ÁREA A E DENSIDADE POPULACIONAL D EM N ZONAS DE ATENDIMENTO

Considere no entorno urbano da cidade uma RPA de área  $A$  contendo vários bairros e com densidade populacional constante  $d$ . Ao dividir essa RPA em  $N$  zonas de atendimento  $ZA_j$ , com  $j = 1, 2, \dots, N$ , o objetivo é obter

sempre um mínimo e um máximo  $E(D_j)$  para cada ZA. Cada zona  $ZA_j$  contém postos de unidades de serviços ( $Us$ ). Seja  $i$  um indivíduo da RPA; aceita-se que todo indivíduo  $i$  tem a mesma probabilidade de solicitar ou chamar a unidade de serviço  $Us$  independente da sua localização na RPA.

Logo, para se calcular o Mn ( $E(D)$ ) é necessário obter os pontos críticos da função  $W(A, \Theta) = E(D) + \Theta \left( \sum_{j=1}^N A_j - A \right)$ ,  $\frac{\partial W}{\partial A_j} = 0$  e  $\frac{\partial W}{\partial \Theta} = 0$ , ou seja sendo  $\Theta$  denominado de multiplicador de Lagrange:

$$E(D) = \sum_{j=1}^N E(D_j) \frac{A_j}{A} = \sum_{j=1}^N \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{A_j} \frac{A_j}{A} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sum_{j=1}^N \frac{(A_j)^{1,5}}{A}.$$

Salienta-se, que o  $Mn(E(D))$  é  $Mn \left( \sum_{j=1}^N (A_j)^{1,5} \right)$ . Logo, os pontos de críticos estão condicionados a:

$$\frac{\partial W}{\partial A_j} = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{1}{2} \frac{1}{A} (A_j)^{0,5} + \Theta = 0.$$

$$\frac{\partial W}{\partial \Theta} = \left( \sum_{j=1}^N A_j - A \right) = 0.$$

Em sendo assim,  $Mín(W)$  é obtido para  $A_1 = A_2 = \dots = A_j = \frac{A}{N}$  Então,

$$E(D) = \frac{\sqrt{2}}{3} N \left( \frac{A}{N} \right)^{0,5} \left( \frac{A}{N} \right) \left( \frac{1}{A} \right) = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{\frac{A}{N}}; \tag{34}$$

$$E(D^2) = \sum_{i=1}^h E(D_i^2) \frac{A_i}{A} = \sum_{i=1}^h \frac{i}{2d} \frac{A_i}{A} = \frac{h}{4} \frac{A_i}{A} = \frac{A}{4 N};$$

$$V(D) = E(D^2) - E(D)^2 = \frac{A}{4 N} - \frac{2}{9} \frac{A}{N} = \frac{A}{36 N} = 0,027 \frac{A}{N}. \tag{35}$$

Esse resultado representa a situação mais favorável para a minimização do valor esperado da métrica  $D$ . Em suma, dada uma região definida por uma  $RPA$ , essa dará um mínimo para  $E(D)$  se a região da  $RPA$  for dividida em  $N$  zonas de atendimento de mesma área  $A$  e com os postos de serviços das  $U_s$  situados no centro das zonas com formatos iguais a um quadrado de lado  $D\sqrt{2}$  e rotacionado de 45 graus em relação à horizontal.

## 9. A EQUAÇÕES DE EFICIÊNCIA EM FUNÇÃO DO FORMATO DA ZA

Conforme visto, anteriormente, a busca da maximização da eficiência para o serviço de atendimento pré-hospitalar usando  $U_s$  dar-se-á segundo as premissas explicadas pelas equações abaixo:

$$E(TR) = E(TP) + E(TV) \leq TMR \quad (36)$$

$$e \bar{W} \equiv 0, \quad (37)$$

em que  $TMR$  representa o tempo máximo resposta especificado para qualquer zona de atendimento, conforme o formato geométrico que conduz a um  $E(TR)$  mínimo.

Dessa maneira, a equação definidora do critério de eficiência das  $U_s$  em função da formatação geométrica da  $ZA$  fica assim definida, considerando os tempos em minutos, a área  $A$  em  $Km^2$  e  $v$  em  $Km/h$ .

- 1) Se a geometria da ZA for próxima de um quadrado rotacionado de, 45 graus em relação ao eixo horizontal, então:

$$\begin{aligned} [E(TP) + E(TV)] &\leq TMR \quad \text{ou} \quad [TMR - E(TP)]^2 \geq \left(\frac{E(D)}{v}\right)^2; \\ [TMR - E(TP)]^2 &\geq \left(\frac{E(D)}{v}\right)^2; \\ [TMR - E(TP)]^2 &\geq \left(\frac{0,4714\sqrt{A}}{v}\right)^2; \\ A &\leq [TMR - E(TP)]^2 \frac{v^2}{800}. \end{aligned} \tag{38}$$

- 2) Para qualquer geometria da ZA,

$$\begin{aligned} [E(TP) + E(TV)] &\leq TMR \quad \text{ou} \quad [TMR - E(TP)]^2 \geq \left(\frac{E(D)}{v}\right)^2; \\ [TMR - E(TP)]^2 &\geq \left(\frac{E(D)}{v}\right)^2; \\ [TMR - E(TP)]^2 &\geq \left(\frac{0,625\sqrt{A}}{v}\right)^2; \\ A &\leq [TMR - E(TP)]^2 \frac{v^2}{1410}. \end{aligned} \tag{39}$$

As equações de eficiência sugerem duas formas de tratamentos. A primeira é considerar o *TMR* como sendo um valor fixo para todas as ZAs. Dessa maneira, os custos inerentes ao dimensionamento das unidades *Us* aumentariam em decorrência, principalmente, das zonas mais afastadas do centro urbano. A segunda sugere considerar o *TMR* como sendo variável. Essa abordagem fica condicionada a análise de grupamento entre as diversas RPAs e ZAs, quantificando as suas semelhanças, por meio de medidas como função distância, coeficientes de similaridade e coeficiente de

correlação. Em suma, a análise do TMR como variável é mais sugestivo, pois o aumento substancial na curva de sinistros, principalmente decorrentes dos sinistros com motos, que em muitos casos levam a óbitos em decorrência da extrapolação do TR. Através da análise dos fatores que orbitam as circunstâncias dos sinistros, este trabalho propõe também balizar melhores desfechos para execução dos atendimentos com as hipóteses elencadas acima.

### REFERENCIAS

- [1] BALL, M.O. and LIN, F.L., A reliability model applied to emergency service vehicle location, *Operation Research*, 41(1), 18–36, 1993.
- [2] BRASIL - MINISTÉRIO DA SAÚDE, Cadastro Hospitalar Ministério da Saúde – MS (2006).
- [3] CHING, W.K., Markov-modulated Poisson processes for multi-location inventory prob- lems. *International Journal of Production Economics*, vol. 53, 217–223, 1997.
- [4] CORDEIRO, Dirac M., Modelo Conceitual de Transporte Integrado à Rede de Hospitais como Atributo de Otimização de um Sistema Urbano de Atendimento Pre-Hospitalar Móvel. Tese de Doutorado, 2012.
- [5] CORDEIRO, D., CORDEIRO, G., Dias, D. Optimizing The Pre-Hospital Mobile Care System: A Case Study. *Rev Bras. Biom.*, Lavras, v.36, n.1, p. 157-187, 2018.
- [6] DASKIN, M.S., A maximal expected covering location model: formulation, properties, and heuristic solution. *Transportation Science*. v17. 48–69, 1989.
- [7] ELLIOT, P., An approach to integrated rescue. QMC – Queensland Mining Council, 2000.
- [8] FREIDENFELDS, John. Capacity Expansions When Demand is Birth-

- Death Rndom Pro- cess. Operation Research, 1980, v. 28, issue 3, 712-721.
- [9] FITZSIMMONS, James A., Administração de Serviços, Operações, Estratégias e Tecnologia da Informação. 4ª Edição, BOOKMAN – Companhia Editora Artmed, RS, 2001.
- [10] GEANDREAU, M.B., LAPORTE, G. and SEMET, F., A Dynamic Model and Parallel Tabu Search heuristic for Real-time Ambulance Relocation. Parallel Computing, 27, 1641– 1653, 2001.
- [11] GOLDBERG, J., DIETRICH, R., CHEN, j.M., MITWASI, M.G., VALENZUELA, T. and CRISS, E. A Simulation Model for Evaluation a Set of Emergency Vehicle Base Location: Develop- ment, Validation, and Usage. Socio-Econ. Plann Sci., vol.24, 125–141, 1990.
- [12] GOLDBERG, J.B., Operations research models for the deployment of emergency services vehicles. EMS Management Journal. V.1 i1. 20–39, 2004.
- [13] IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Riscos ocupacionais, acidentes do trabalho e morbidade entre motoristas de uma central de ambulâncias do estado de São Paulo, Dissertação de mestrado, USP, Ribeirão Preto, SP, 2005.
- [14] IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Censo Geográfico/Cadastro Hospitalar, 2015 e 2019.
- [15] LANGEVIN, A. and SOUMIS, F., Design of Multiple-Vehicle Delivery Tours Satisfying Duration Constraints. Transportation Research. 23 B(2), 123–138, 1989.
- [16] LARSON, R.C., A hypercube queuing model for facility location and redistricting in urban emergency services. Computers and Operations Research. v1. 67–95, Prentice-Hall, 1981.
- [17] MANNE, A. S., Capacity Expansion and Probabilistic Growth. Econometrica, 29: 632 - 649, 1961.
- [18] MINISTÉRIO DA SAÚDE - MS, Relatório de Gestão do Exercício 2005.
- [19] OLIVEIRA, N. L. B., SOUZA, R., M., C. Diagnóstico de Lesões e Qualidade de Vida de Motociclista, Vítima de Acidentes de Trânsito. Revista Latino - AM de Emfermegem, v.11, n.6, p. 746-756, 2003.

- [20] OMS – Organização Mundial de Saúde. Causas externas de morbidade e de mortalidade: Classificação Estatística Internacional de doenças e problemas relacionados a saúde. São Paulo: EDUSP, p.969–1016, 1995.
- [21] OMS – Organização Mundial de Saúde. Informe Mundial sobre prevenção dos traumas causados por acidentes de trânsito, 2001.
- [22] PLANILHA de Custo Operacional do STPP/RMR, 2008.
- [23] RECIFE. Secretaria Municipal de Saúde. Segurança e saúde no trabalho. Recife: Ministério Público de Pernambuco, 2005 e 2007.
- [24] ROSENFELD, B. DONALD, ENGELSTEIN, Israel and FEIGENBAUM, D., Strategies for Sizing Service Territories - INSTITUTE OF TECHNOLOGY MASSACHUSETTS – IMT, LIBRARIES, Working Paper, 3063-89 – MS, 1989.
- [25] SAMU-192/Recife, Relatório Gerencial de Ligações Recebidas – Prefeitura Municipal do Recife. (2009/2010).
- [26] SAVAS, E.S., Simulation and cost-effectiveness analysis of New York's emergency ambulance service. Management Science, v.15, n.12, p.B-608-B-627, 1969.
- [27] SILVA, Hamilton, B.F., Planejamento da rede pública em áreas urbanas: um modelo matemático para localização de escolas. Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia Civil, UFF. 1991.
- [28] SOUZA, João Carlos, Dimensionamento, localização e escalonamento temporal de serviços de emergências. Tese de Doutorado, Depto de Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, SC, 1996.
- [29] TAKEDA, E., Riscos ocupacionais, acidentes do trabalho e morbidade entre motoristas de uma central de ambulâncias do estado de São Paulo, Dissertação de mestrado, USP, Ribeirão Preto, SP, 2002.
- [30] TAKEDA, R., WIDMER, J.A. e MORABITO, R., Aplicação do modelo hipercubo de filas para avaliar a descentralização de ambulâncias em um sistema urbano de atendimento médico de urgência. Pesquisa Operacional, v.24, n.1, p.39–72, 2004.
- [31] TAKEDA, R. WIDMER, J.A. e MORABITO, R., Analysis of ambulance