

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**LUSIANNY PEREIRA HERZOG**

**DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA ÓTIMA DO SERVIÇO DE  
ATENDIMENTO MÓVEL DE URGÊNCIA (SAMU) DA CIDADE DE BAGÉ POR  
MEIO DE UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR**

**Bagé**

**2016**

**LUSIANNY PEREIRA HERZOG**

**DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA ÓTIMA DO SERVIÇO DE  
ATENDIMENTO MÓVEL DE URGÊNCIA (SAMU) DA CIDADE DE BAGÉ POR  
MEIO DE UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Marcelo Xavier Guterres

Coorientador: Prof. Dr. Arq. Cristiano Corrêa Ferreira

**Bagé**

**2016**

**LUSIANNY PEREIRA HERZOG**

**DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA ÓTIMA DO SERVIÇO DE  
ATENDIMENTO MÓVEL DE URGÊNCIA (SAMU) DA CIDADE DE BAGÉ POR  
MEIO DE UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 04 de julho de 2016.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Cristiano Corrêa Ferreira

UNIPAMPA

---

Prof. Dra. Vera Lucia Duarte Ferreira

UNIPAMPA

---

Prof. MSc. Marília Pereira de Ardovino Barbosa

URCAMP

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus orientadores Cristiano Corrêa Ferreira e Marcelo Xavier Guterres, pelos conselhos, sugestões e orientações nas horas certas e pelo aprendizado ao longo do Trabalho de Conclusão de Curso.

A todos os serviços de atendimento médico de urgência que se dispuseram a colaborar com o desenvolvimento deste estudo, em especial a coordenadora administrativa do SAMU, Claudia Pacheco Machado, pelo apoio ao projeto, respondendo pacientemente as dúvidas e facilitando ao máximo o desenvolvimento do trabalho, e proporcionando uma maior interação entre a universidade e a realidade de alguns problemas sociais brasileiros.

À Secretaria de Saúde de Bagé, por ter aprovado o projeto, considerando relevante para melhoria do processo de atendimento do SAMU para a cidade.

Aos meus amigos e amigas pelas conversas, apoio e companheirismo nas horas alegres e nos momentos difíceis.

E finalmente um agradecimento muito especial...

A minha família, especialmente aos meus pais, por terem me mostrado através do exemplo e dos ensinamentos qual o grande significado e objetivo da vida.

## RESUMO

Questões relacionadas à localização e operação de sistemas de atendimento de emergência têm sido cada vez mais analisadas ao longo dos anos. Procurando soluções que possam suavizar as consequências de uma atuação ineficiente. Visto que qualquer mínima melhoria já é de grande importância, pois são serviços que se envolvem com a vida da população. Para tanto, existe no Brasil o Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU), um programa do governo federal que presta socorro médico emergencial às pessoas, buscando garantir a qualidade no atendimento em centros urbanos. O sistema deve determinar a resposta mais adequada para o caso, assegurar a disponibilidade dos meios hospitalares, determinar o tipo de transporte exigido e preparar o acolhimento dos pacientes. Por isso, serviços de emergência lidam com a difícil tarefa de localização das ambulâncias, para que possam atender as chamadas de forma rápida e otimizada. O presente trabalho tem por objetivo melhorar a eficiência do SAMU da cidade de Bagé, Rio Grande do Sul, propondo um modelo matemático que possua aplicabilidade no sistema de atendimento. Para isto, existe a necessidade de conhecer os zoneamentos do município, assim como, as suas principais características, para estudar as ocorrências, elaborando um mapa conceitual da cidade com o intuito de analisar em quais macrozoneamentos ocorrem mais ocorrências onde o SAMU precisa atuar, os tipos de ocorrências mais comuns em cada zona, entre outros. Após as devidas autorizações, os dados do SAMU foram disponibilizados em formato de planilhas eletrônicas. Com os dados à disposição, estes foram tratados e manipulados por meio de planilhas eletrônicas de Excel, após foi aplicado o modelo LSCM para quatro centros de demandas diferentes e dezessete possíveis bases. O bairro centro no ano de 2013 foi o que apresentou maior número de chamados. Os atendimentos do tipo clínico foram os que mais aconteceram no período de análises. Em relação ao período de atendimento o maior índice foi a tarde e o menor na madrugada. Quanto aos dias da semana que mais ocorrem atendimentos pode-se informar que foram domingo e quarta-feira. Os dias que menos ocorrem foram sexta, terça-feira, segunda-feira. As ambulâncias mais utilizadas pelo SAMU de Bagé foram as básicas. O sexo que mais utilizou o atendimento de emergência no período identificado acima foi feminino. Através do zoneamento urbano desenvolvido no Google Earth pode-se observar que a maioria das ocorrências no ano de 2013 se encontraram na macrozona central. Por meio do uso do modelo LMSC identificou-se que número de ambulâncias existentes foram suficientes para atender as demandas locais. Sendo que atualmente existem quatro ambulâncias no SAMU de Bagé. Com os resultados, conclui-se que a base atual do SAMU está em uma localização ideal, visto que apareceu em dois dos

modelos analisados. Outros locais para localização das bases seriam: onde está localizado o ESF da Arvorezinha e onde está localizado o ESF Barão do Itaqui.

Palavras-chave: Serviço de emergência, SAMU, problema de localização, modelo de otimização.

## ABSTRACT

Issues relating to location and emergency response systems operation have been increasingly analyzed over the years. In order to find solutions that can soften the consequences of inefficient operations. Since any minimal improvement is already of great importance, because those services deal with people's lives. For this, there is in Brazil, the Mobile Emergency Service (SAMU), a federal government program that provides emergency medical assistance to people, seeking to ensure the quality of care in urban centers. The system should determine the most appropriate response to the case, ensuring the availability of hospital resources, determining the required type of transport and preparing the reception of patients. Therefore, emergency services deal with the difficult task of location of ambulances so that they can answer calls quickly and optimally. This study aims to improve the efficiency of SAMU in Bage, Rio Grande do Sul, proposing a mathematical model that has applicability in the system. For this, there is a need to know the zoning of the city, as well as their main features, to study the occurrences, preparing a conceptual map of the city in order to analyze in which macro zonings occur more incidents where SAMU needs to act, the most common types of occurrences in each area, among others. After proper permits, SAMU data were made available in spreadsheet format. With the data available, these were treated and manipulated through Excel electronic spreadsheet, after it was applied the LSCM model to four centers of different demands and seventeen possible bases. The center district in 2013 showed the largest number of calls. The clinical care was the most frequently service in the analysis period. Regarding the period of service, the highest rate happened in the evening and the lowest in dawn. Sunday and Wednesday were the days of the week that more calls have occurred. The days that occurred less were Monday, Tuesday and Friday. Ambulances most used by SAMU were the basic ones. The sex that most used emergency care in the period identified was female. Through zoning developed in Google Earth it was possible to observe that most of the cases in 2013 were found in the central macro zone. Through the use of LMSC model it was concluded that the number of ambulances was enough to attend the local demands. The results made possible to conclude that the current base of SAMU is in an ideal location, as it appeared in two of the analyzed models. Other sites for location of bases would be: where is located the Arvorezinha ESF and Barão do Itaqui ESF.

Keywords: Emergency service, SAMU, location problem, optimization model.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Veículos SAMU .....	20
Figura 2 - Tipos de Ocorrências .....	22
Figura 3 - Mapa localização do SAMU, Hospital Santa Casa e UPA.....	23
Figura 4 - Macrozoneamento.....	26
Figura 5 - Sistema Viário de Bagé .....	28
Figura 6 - Espaço de estados para sistemas com três servidores.....	40
Figura 7 - Fluxograma geral da metodologia para o desenvolvimento do trabalho .....	42
Figura 8 - Planilha SAMU.....	44
Figura 9 - Google Earth .....	45
Figura 10 - Prováveis Bases .....	48
Figura 11 - <i>Software</i> Lindo.....	49
Figura 12 – Ocorrências por Bairros .....	51
Figura 13 - Ocorrências Turnos.....	52
Figura 14 – Ocorrências 2013 .....	54
Figura 15 - Demandas <i>Clustering</i> .....	55
Figura 16 - Três Centros de Demanda.....	58
Figura 17 - Seis Centros de Demanda .....	59
Figura 18 - Doze Centros de Demanda .....	59
Figura 19 - Dezoito Centros de Demanda .....	60
Figura 20 - Bases das Ambulâncias.....	61

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Boletim de Atendimento .....	22
Quadro 2 - Unidades de Saúde .....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Legenda das Ocorrências.....	47
Tabela 2 – Dados das variáveis sexo e tipo de ambulâncias .....	53
Tabela 3 – Matriz de Distâncias (3x17).....	56
Tabela 4 - Matriz de Distâncias (6x17) .....	56
Tabela 5 - Matriz de Distâncias (12x17) .....	57
Tabela 6 - Matriz de Distâncias (18x17) .....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- CRS – Centro Regional de Saúde
- EMS – Serviços de Emergências Médicas
- ESF – Estratégia Saúde da Família
- FCFS – *First Come First Served*
- KED – *Kendrick Extrocatation Device*
- KML – *Keyhole Markup Language*
- LSCM – *Location Set Covering Model*
- MCLP – *Maximal Covering Location Problem*
- MEXCLP – *Maximum Expected Covering Location Problem*
- MT – Motolância
- PDDUA – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental
- PTCC – Projeto Trabalho de Conclusão de Curso
- SAMU – Serviço de Atendimento Móvel de Urgência
- TCC – Trabalho de Conclusão de curso
- TEAM – *Tandem Equipment Allocation Model*
- TR – Tempo Resposta
- UPA – Unidade de Pronto Atendimento
- USA – Unidades Móveis de Suporte Avançado
- USB – Unidades Móveis de Suporte Básico
- UTI – Unidade de Terapia Intensiva

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1	Problema.....	17
1.2	Objetivo Principal.....	17
1.3	Objetivos Intermediários.....	17
1.4	Estrutura do Trabalho .....	17
<b>2</b>	<b>SERVIÇOS DE EMERGÊNCIA.....</b>	<b>18</b>
2.1	Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) .....	18
2.1.1	Unidades do SAMU.....	20
2.1.2	Funcionamento do SAMU .....	21
2.1.3	SAMU de Bagé .....	22
<b>3</b>	<b>MAPEAMENTO DAS ZONAS URBANAS.....</b>	<b>25</b>
3.1	Macrozoneamento de Bagé .....	25
3.2	Sistema Viário .....	27
3.3	A Saúde em Bagé.....	29
<b>4</b>	<b>MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE UNIDADES DE EMERGÊNCIAS .....</b>	<b>31</b>
4.1	Modelos Determinísticos .....	33
4.1.1	LSCM – Modelo de Localização de Cobertura de Conjuntos .....	34
4.1.2	MCLP – Problema de Localização de Máxima Cobertura.....	35
4.1.3	TEAM – <i>Tandem Equipment Allocation Model</i> .....	36
4.2	Modelos Probabilísticos.....	38
4.2.1	Modelo do Hipercubo .....	38
4.3	<i>Clustering</i> .....	40
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>42</b>
5.1	Escolha do Local .....	42
5.2	Coleta e Tratamento dos Dados do SAMU.....	43
5.2.1	Localizar e Mapear Ocorrências .....	45

5.2.2	Modelos Matemáticos para a Resolução do Problema .....	47
6	RESULTADOS .....	51
6.1	Banco de Dados .....	51
6.1.1	Google Earth.....	54
6.1.2	<i>Clustering</i> .....	55
6.1.3	Resolução do Problema .....	58
7	CONCLUSÕES .....	62
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	64
	REFERÊNCIAS .....	65

## 1 INTRODUÇÃO

Questões relacionadas à localização e operação de sistemas de atendimento de emergência têm sido cada vez mais analisadas ao longo dos anos. Procurando soluções que possam suavizar as consequências de uma atuação ineficiente. Visto que o acesso à saúde está diretamente relacionado com a qualidade de vida, e estes serviços lidam diretamente com a vida da população.

O alvo dos Serviços de Emergências Médicas (EMS) é reduzir a mortalidade, incapacidade e sofrimento resultante de traumas e enfermidades agudas. O alcance desta meta passa pelo tempo que uma equipe de paramédicos em uma ambulância de resgate leva até chegar ao local de onde se originou a chamada e posteriormente o tempo de transporte do paciente até o local apropriado de atendimento emergencial mais próximo.

Para tanto, existe no Brasil o Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU). Tal serviço é um programa do governo federal que presta socorro médico emergencial às pessoas, que quando opera com eficiência auxilia no salvamento de vidas. Buscando garantir a qualidade no atendimento em centros urbanos.

A rapidez no atendimento às vítimas é uma das maiores requisições do sistema. Se o socorro a uma urgência médica ocorre nos primeiros instantes, muitas vidas podem ser preservadas, pois o tempo é um elemento crucial na sobrevivência do paciente. O tempo decorrido entre o instante da solicitação pelo serviço e o início do atendimento, denominado tempo de resposta (TR), é um dos principais fatores que influenciam o nível de serviço aos usuários.

Nesse sentido, o TR é resultante de um conjunto de fatores, como por exemplo: experiência e capacitação profissional da equipe; condições de tráfego local; dia da semana e período do dia; tipo e número de veículos disponíveis; localização destes veículos; políticas de despacho; entre outros.

No Brasil não foi encontrando nenhuma norma que determine um tempo máximo para atender as ocorrências. Mas, conforme a regulamentação americana para os serviços médicos de urgência estabelece que 95% das solicitações em área urbana devem ser atendidas em, no máximo, 10 minutos, sendo esse período estendido para 30 minutos para a área rural (TAKEDA; WIDMER; MORABITO, 2004). Esse tempo deve ser sempre o menor possível, de maneira que não interfira no sucesso do atendimento.

Outro aspecto diz respeito ao tamanho da frota de ambulâncias e suas localizações, pois são fatores que podem ser gerenciados e controlados pelo planejamento do EMS e afetam

diretamente no alcance de sua meta. Há um relacionamento direto entre o tempo de resposta e a mortalidade e é isto que faz com que a localização de ambulâncias seja um problema importante a ser resolvido (MALEKI; MAJLESINASAB; SEPEHRI, 2014).

Gonçalves (1994 *apud* SILVA, 2010) mostra que as eficiências de serviços emergenciais, como o SAMU, são medidas através do tempo médio de resposta a um chamado. Ou seja, o tempo que uma vítima espera em média para começar a receber algum tipo de atendimento. Quanto maior o risco de vida envolvido e maior a necessidade de se obter respostas rápidas, menor deve ser a taxa de utilização dos operadores e equipamentos do sistema. Caso contrário, o nível de serviço oferecido pode ser deteriorado. Neste contexto, quando bem dimensionados, geralmente ocorrem longos períodos em que os operadores e equipamentos permanecem desocupados.

Além disso, sabe-se que o sistema deve determinar a resposta mais adequada para o caso, assegurar a disponibilidade dos meios hospitalares, determinar o tipo de transporte exigido e preparar o acolhimento dos pacientes (SCHMID, 2012).

Por isso, serviços de emergência lidam com a difícil tarefa de localização das ambulâncias, para que possam atender as chamadas de forma rápida e otimizada. Do mesmo modo, muitas vezes estão sob pressão de obrigações contratuais ou metas gerenciais para atender os níveis padrão de critérios de desempenho. Este problema torna-se mais complicado quando aumentam o número de chamadas de emergência, os custos operacionais ou quando as condições de tráfego não são favoráveis. Assim, modelos de localização e realocação de ambulâncias podem melhorar os níveis e os critérios de desempenho e aliviar tais complexidades.

Portanto, os operadores podem melhorar o desempenho do sistema de realocação dinâmica de ambulâncias em resposta as variações nos padrões de demanda. O dimensionamento dos sistemas de emergência tem sido estudado com o intuito de aprimorar o serviço já oferecido. Para as pesquisas encontradas na literatura são utilizadas diversas técnicas, tais como: simulações computacionais, modelos matemáticos e algoritmos, associados a *softwares* que auxiliam em vários níveis de decisão.

O que inicialmente era considerado simples, como passar dos anos e com o desenvolvimento de novas pesquisas, tornou-se problemas mais reais com técnicas e modelos mais sofisticados.

Conforme Jardim e Conceição (2004), a maioria dos modelos inicialmente eram de natureza determinística e foram importantes para análise do planejamento e investigação, ignorando as considerações estocásticas do problema. Alguns modelos para localização de

facilidades utilizam métodos de busca para redução do tempo computacional juntamente com heurísticas<sup>1</sup> que possibilitam a divisão de um macroproblema complexo em subproblemas.

De acordo com Fitzsimmons e Srikar (1982), os objetivos de implantação de veículos de emergência são:

- a) maximizar o número de chamadas atendidas dentro de um tempo de resposta máximo, especificado utilizando um número limitado de veículos;
- b) minimizar o número de instalações necessárias para cobrir todas as chamadas (ou área de serviço) dentro de um tempo de resposta máximo especificado;
- c) minimizar significativamente o tempo de resposta usando um número limitado de veículos.

Segundo Figueiredo e Lorena (2005), a localização dos serviços emergenciais influencia significativamente a eficiência sobre o tempo da resposta. Inicialmente, existem algumas questões a serem respondidas, sendo essas “Quantos servidores são necessários?”, “Quanto tempo as pessoas envolvidas na emergência podem esperar pelo serviço emergencial antes que as consequências de sua falta se tornem intoleráveis?”, “O que fazer quando os servidores não estiverem disponíveis?”.

Takeda, (2000) relata que os principais problemas pesquisados são:

- a) número de unidades de atendimento em uma região;
- b) programação de equipes;
- c) problemas de localização.

Em virtude do exposto este trabalho tem por objetivo pesquisar e estudar modelos de localização no sentido de projetar ou não a realocação de ambulâncias. Após estudo, pretende-se indicar o modelo mais adequado para aplicar no SAMU que se localiza na região central da cidade de Bagé, Rio Grande do Sul, anexo ao principal hospital denominado Santa Casa de Caridade Bagé, com o desafio de aplicar o modelo no sistema atual. Assim, espera-se gerar melhorias para o SAMU, reduzindo o tempo de atendimento das emergências e, conseqüentemente, diminuir as fatalidades decorrentes ao atraso da chegada dos veículos nas ocorrências.

---

<sup>1</sup> É um método ou processo criado com o objetivo de encontrar soluções para um problema. Na ciência da computação, em especial otimização e inteligência computacional por exemplo, heurística representa algo sem precedentes (SUCUPIRA, 2004).

## **1.1 Problema**

O presente estudo visa responder a seguinte questão: *Qual a localização ótima do SAMU da cidade de Bagé/RS de forma a minimizar o tempo resposta e o tempo de locomoção?*

A resposta dessa pergunta trará muitos benefícios não só ao SAMU, mas para toda a comunidade.

## **1.2 Objetivo Principal**

O presente trabalho tem por objetivo melhorar a eficiência do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) da cidade de Bagé, Rio Grande do Sul, propondo um modelo matemático que possua aplicabilidade no sistema.

## **1.3 Objetivos Intermediários**

- a) verificar se o número de ambulâncias é suficiente;
- b) verificar se a localização das ambulâncias está correta;
- c) relacionar o tipo de ocorrência com o definido pelo plano diretor de Bagé através do zoneamento urbano;
- d) desenvolver o mapa conceitual de chamados/atendimentos;
- e) caracterizar os diferentes tipos de ocorrências.

## **1.4 Estrutura do Trabalho**

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: no Capítulo 2 é feita a caracterização do serviço de atendimento móvel de urgência. No Capítulo 3 é apresentado o mapeamento através do zoneamento urbano a fim de mostrar os pontos e regiões onde se concentram as ocorrências. No Capítulo 4 é realizada uma revisão da literatura sobre modelos matemáticos aplicados em pesquisas sobre localização de unidades de emergência. No capítulo 5 encontram-se os matérias e métodos, já no capítulo 6 traz os resultados. No capítulo 7 se encontram as conclusões desse estudo. No Capítulo 8 são apresentadas sugestões de trabalhos futuros. Por fim, estão relacionadas às referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

## 2 SERVIÇOS DE EMERGÊNCIA

Os serviços de emergência são: ambulâncias, corpo de bombeiros e polícia. Ambulâncias têm como objetivo o atendimento de ocorrências de urgência. O corpo de bombeiros de uma cidade realiza diversos tipos de atendimento como o socorro em incêndios e destruições e situações de salvamento de vidas, sendo essas funções diferentes e desempenhadas por especialistas e veículos distintos. Enquanto na polícia, a operação de patrulhamento é realizada em viaturas que são alocadas para determinados setores de uma cidade, podendo operar com um ou mais policiais, dependendo do índice de criminalidade associado ao seu setor de cobertura. Qualquer melhoria no tempo resposta podem provocar efeitos significativos nos serviços de emergências.

A rapidez na realização dos atendimentos é sempre a maior preocupação desses tipos de serviços, pois, o tempo entre a solicitação do serviço e o início do atendimento é primordial para que o desempenho seja satisfatório. Por isso, existe uma busca constante na minimização do tempo resposta.

Os serviços de emergências possuem um grau de incerteza muito alto, por isso se espera um serviço de excelência e eficiência. O tempo que uma vítima espera até começar a receber qualquer tipo de atendimento precisa ser o menor possível, tempo esse denominado de tempo resposta.

### 2.1 Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU)

Segundo Timerman et al., (2006 *apud* Silva, 2010) o serviço de atendimento móvel de urgência no Brasil segue o modelo francês de tratamento pré-hospitalar, que presta socorro às vítimas no local do acidente, não se atendo somente ao transporte da vítima para o hospital.

O primeiro SAMU implantado no Brasil foi na cidade de Campinas no ano de 2005. É um serviço administrado pela Prefeitura, por meio da Secretaria Municipal de Saúde e tem parceria com o Ministério da Saúde e atendeu, naquele ano, um total de 64.131 ocorrências.

Com o sistema, espera-se reduzir o número de óbitos, o tempo de internação em hospitais e as sequelas decorrentes da falta de socorro precoce. O serviço funciona 24 horas por dia, utilizando ambulâncias e equipes de profissionais de saúde que atendem diversos tipos de urgências.

Conforme SAMU (2015), ao ligar para o número 192, será direcionado para uma Central de Regulação de Emergências Médicas que conta com profissionais de saúde e médicos

treinados para dar orientações de primeiros socorros por telefone com a ajuda da telemedicina. São estes profissionais que definem o tipo de atendimento, ambulância e equipe mais adequados para cada caso. Há situações em que basta uma orientação por telefone. Em outras, a intervenção da equipe se faz necessária.

Conforme a Secretaria Estadual da Saúde (2015), a Central de Regulação do Rio Grande do Sul está dividida em:

- a) central estadual: atende 243 municípios com 139 bases (o que corresponde a uma população de 6.806.125 habitantes);
- b) central regional de Pelotas: atende 11 municípios da 3ª Centro Regional de Saúde (CRS) com 11 bases (população de 592.252 habitantes);
- c) central regional de Bagé: atende cinco municípios da 7ª CRS com cinco bases (população de 176.536 habitantes);
- d) central regional de Caxias do Sul: atende Caxias do Sul e Vacaria, com duas bases (população de 502.982 habitantes);
- e) central municipal de Porto Alegre: atende somente Porto Alegre (população de 1.413.094 habitantes).

O SAMU atende pacientes na residência, no local de trabalho, na via pública, ou seja, apenas com um telefonema o atendimento chega ao usuário onde quer que ele esteja, por via de diferentes meios de socorro.

A equipe presta atendimento já no local, fora do ambiente hospitalar, salvando vidas e diminuindo a possibilidade de sequelas. O programa oferece o direcionamento para o serviço de estabilização mais próximo e adequado para a situação do paciente.

O SAMU pode ser chamado nos seguintes casos:

- a) na ocorrência de problemas cardiorrespiratórios;
- b) em casos de intoxicação, trauma ou queimadura;
- c) na ocorrência de quadros infecciosos;
- d) na ocorrência de maus tratos;
- e) em trabalhos de parto;
- f) em casos de tentativas de suicídio;
- g) em crises hipertensivas;
- h) quando houver acidentes com vítimas;
- i) em casos de choque elétrico;
- j) em acidentes com produtos perigosos;
- k) na transferência de doentes de uma unidade hospitalar para outra.

Conforme Silva (2010), a rede nacional SAMU 192 conta com 146 Serviços de Atendimento Móvel de Urgência no Brasil. Ao todo, 1.269 municípios são atendidos pelo SAMU, num total de 101.794.573 milhões de pessoas.

Entre os anos de 2008 a 2013, as equipes do SAMU já salvaram mais de um milhão de vidas no Rio Grande do Sul. Os dados comprovam o quanto o serviço é imprescindível para que haja cada vez menos óbitos por falta de socorro.

### 2.1.1 Unidades do SAMU

O sistema é dividido em três diferentes tipos de unidades: Unidades Móveis de Suporte Avançado (USA), Unidades Móveis de Suporte Básico (USB) e Motolância (MT), Figura 1 (A) e (B).

Figura 1 – Veículos SAMU



Fonte: SAMU (2015).

Os veículos do tipo USA são comumente conhecidas como Unidade de Terapia Intensiva (UTI) móveis. São ambulâncias de suporte avançado e contam com uma equipe composta por médico, enfermeiro e condutor socorrista<sup>2</sup>. Cada unidade, Figura 1 (A), possui material de consumo com no mínimo: um aspirador cirúrgico portátil para ambulância, um respirador a volume, um monitor multiparâmetros, um oxímetro digital, além de medicamentos de cuidados intensivos e todo o material para imobilização, como colares cervicais, macas rígidas e estabilizador dorsal (*Kendrick Extroaction Device - KED*) tanto adulto quanto pediátrico.

<sup>2</sup> Profissional de nível básico, habilitado a conduzir veículos de urgência padronizados pelo código sanitário e pela portaria Ministerial MS 2048/GM de 5 de novembro de 2002, como ambulância, obedecendo aos padrões de capacitação e atuação previstos nesta Portaria (SAMU, 2015)

USB são as ambulâncias de suporte básico de vida e contam com uma equipe composta de técnico de enfermagem e condutor socorrista. Cada unidade tem, além de material de consumo, no mínimo: um aspirador cirúrgico portátil para ambulância, um oxímetro digital e um DEA (Desfibrilador Externo Automático), medicamentos e todo o material para checagem de sinais vitais. Possuem ainda materiais para imobilização, como colares cervicais, macas rígidas e estabilizador dorsal (KED) tanto adulto quanto pediátrico.

As MT foram desenvolvidas para buscar a excelência no atendimento de urgência, garantindo um tempo de resposta mais eficaz nas ocorrências. Trata-se de uma das melhores soluções para locomoção, tendo em vista sua facilidade de deslocamento mesmo em condições de tráfego prejudicadas nas grandes cidades e também para o difícil acesso em áreas remotas.

Frequentemente, a MT permite a chegada de um membro da equipe em um intervalo de tempo estimado entre 3 a 5 minutos antes da ambulância, garantindo um tempo resposta reduzido. Que em casos em que a magnitude das sequelas depende do tempo do primeiro atendimento, faz toda a diferença. A MT, como mostra a Figura 1 (B) possui quase todos os materiais das USB, com exceção da maca rígida para imobilização.

### **2.1.2 Funcionamento do SAMU**

O SAMU realiza o atendimento de urgência e emergência em qualquer lugar: residências, locais de trabalho e vias públicas, contando com as Centrais de Regulação, profissionais e veículos de salvamento.

Nas Centrais de Regulação ocorre o primeiro contato com a população através do atendimento das ligações. Nelas estão localizados telefonistas e médicos reguladores (NOGUEIRA JUNIOR, 2011).

Toda ligação que a central recebe primeiramente é identificado a emergência e, imediatamente, a ligação é transferida para o médico regulador, que dará o diagnóstico inicial da situação e orientará quem fez a ligação.

Ao mesmo tempo, o médico regulador necessita verificar em qual procedimento o paciente se enquadra. Se o caso for considerado simples, o paciente irá receber orientações para procurar socorro em hospitais ou postos de saúde por conta própria. Nos casos mais graves é necessário o envio de uma ambulância ao local, do tipo USB ou a USA, dependendo do grau de gravidade da ocorrência.

### 2.1.3 SAMU de Bagé

O Serviço de Atendimento Móvel de Urgência da cidade de Bagé, Rio Grande do Sul, foi inaugurado no dia 15 de agosto de 2005. O serviço atual conta com uma ambulância do tipo USA, duas do tipo USB e não conta com motolâncias.

Existem fichas manuais das ocorrências desde quando o SAMU foi inaugurado até os dias de hoje. Mas somente a partir de 2011 que é possível obter dados em forma de planilhas eletrônicas. Essas fichas são conforme ilustra o Quadro 1, e através do que é preenchido neles é passado para as fichas eletrônicas.

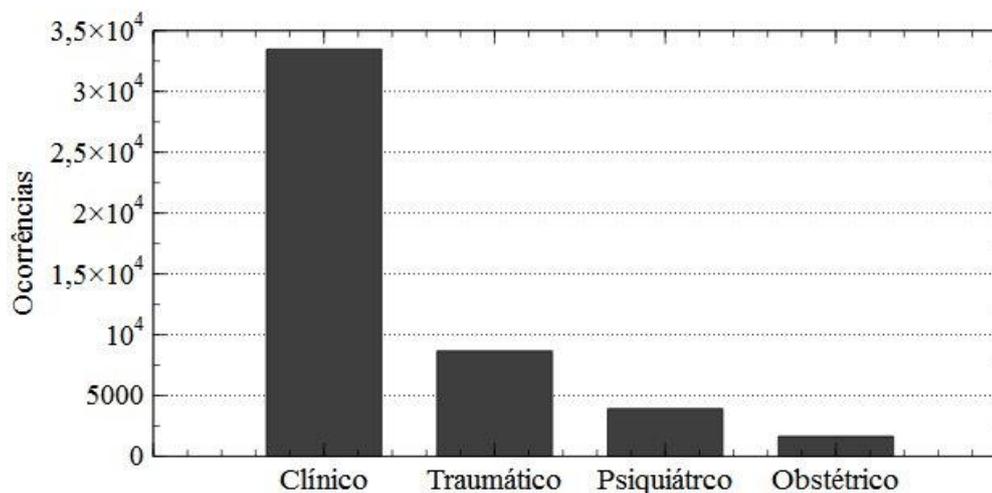
Quadro 1- Boletim de Atendimento

Prefeitura Municipal de Bagé Secretaria Municipal de Saúde – SMS BOLETIM DE ATENDIMENTO – SAMU 192						
Hora saída SAMU:	Hora chegada SAMU:	Hora saída local:	Hora chegada no PS:	Hora saída PS:	Chegada na base:	Destino paciente:
Paciente:				Sexo:	Idade:	Data:
Endereço:				Bairro:		
Paciente:	Ocorrência nº:	Ass. Médico	Condutor	Ass. Tec. De Enf.		
Clínica Adulto	Clínica Pediátrica	Clinica Obstétrica	Clinica Acidentes	Clinica Conflitos	Clinica Lesões Corporais	
Diagnóstico e Tratamento:						

Fonte: Adaptado do SAMU (2015).

De junho de 2011 até agosto de 2015 foram atendidas mais de 45 mil ocorrências. Os tipos destas estão indicadas na Figura 2.

Figura 2 - Tipos de Ocorrências

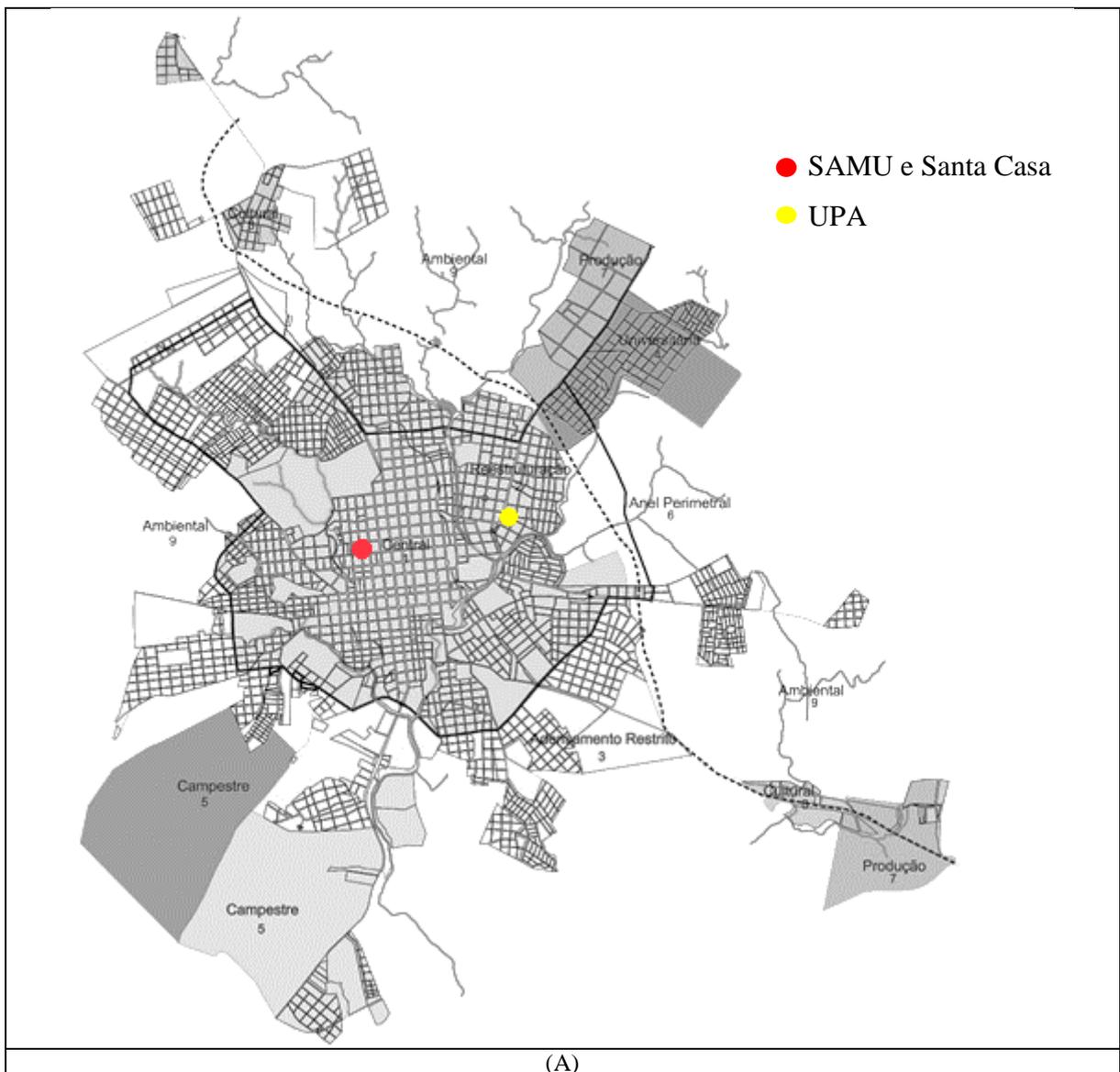


Fonte: Adaptado do SAMU (2015)

Os casos clínicos concentram a maioria dos casos pois eles englobam vários tipos de ocorrências como por exemplo: acidentes domésticos. Os traumáticos são em geral acidentes no trânsito. Os psiquiátricos são ocorrências envolvendo pacientes com problemas de saúde mental. Já os obstétricos são as ocorrências envolvendo gestantes.

O SAMU da cidade de Bagé-RS se localiza junto ao anexo do principal hospital da cidade conhecido como Santa Casa de Caridade, como mostra o mapa da Figura 3(A). Além disso, essa mesma Figura ilustra a região de localização da Unidade de Pronto Atendimento (UPA) locais para onde podem ser levados os pacientes atendidos atualmente. Já a Figura 3(B) apresenta o prédio da SAMU e a Figura 3(C) estacionamento das ambulâncias (USA).

Figura 3 - Mapa localização do SAMU, Hospital Santa Casa e UPA.





(B)



(C)

Fonte: Adaptado de Google Maps, acesso em 25/09/15

### **3 MAPEAMENTO DAS ZONAS URBANAS**

Carvalho e Braga (2001), afirmam que o instrumento urbanístico mais difundido é o zoneamento urbano. Considerando a implementação, o zoneamento comumente é definido em: macrozoneamento, que delimita as zonas urbanas, trata da expansão urbana, rural e macrozonas especiais do município. E o zoneamento propriamente dito, que estabelece normas de uso e ocupação para cada macrozona, principalmente da zona urbana, pelo fato do poder local da zona rural possuir pouca competência regulatória.

Brasil (2007), institui que o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA), cita que o PDDUA é um instrumento básico e estratégico das políticas de desenvolvimento sustentável do território, compondo um conjunto de diretrizes orientadoras para todos os agentes públicos e privados que atuam no Município.

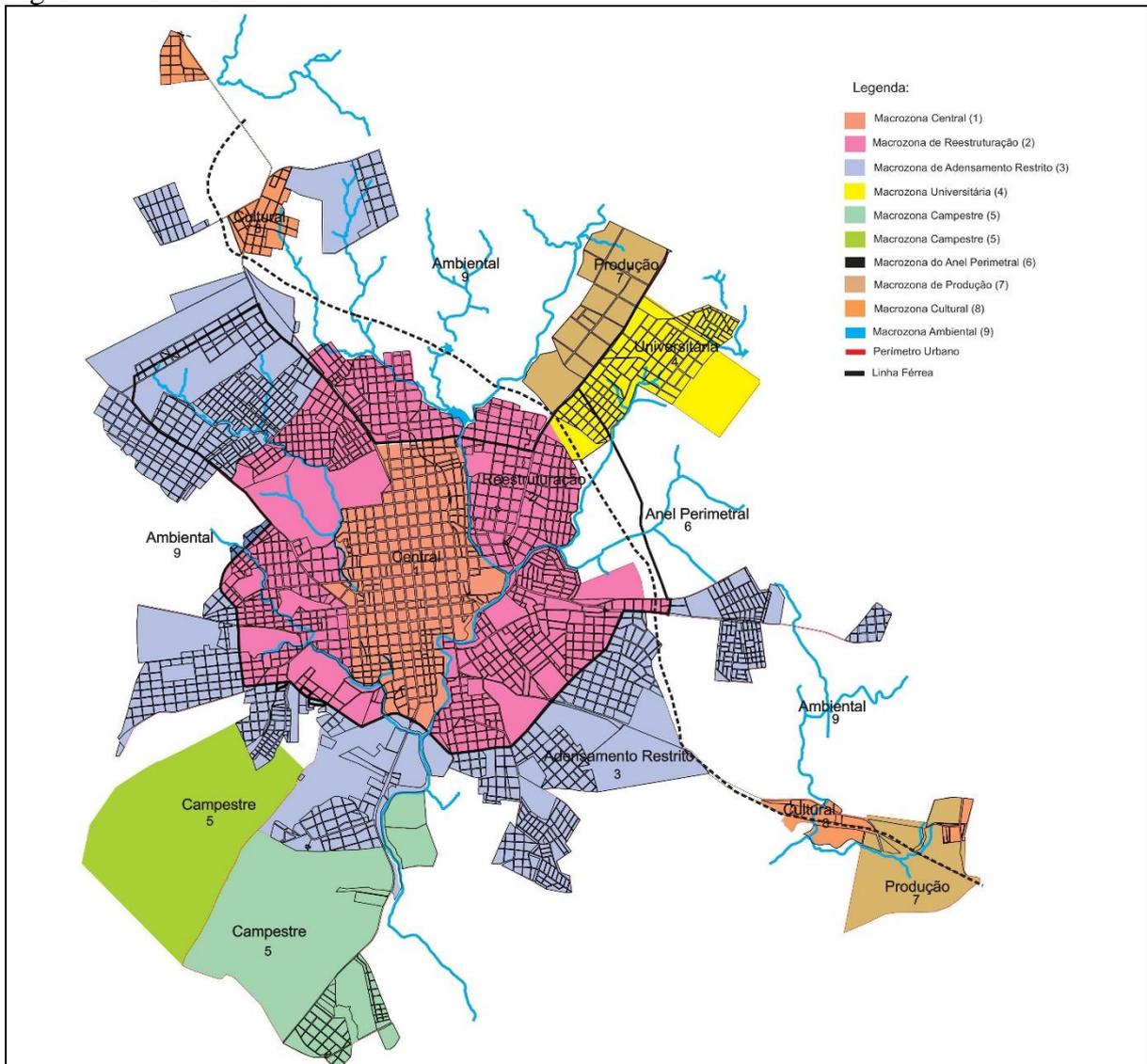
O Plano Diretor de um município tem como principal finalidade orientar a atuação do poder público e da iniciativa privada na construção dos espaços urbano e rural na oferta dos serviços públicos essenciais. Almejando assegurar melhores condições de vida para a população (ABNT, 1991).

Para a aplicabilidade de um modelo matemático é necessário que a cidade em questão seja dividida em átomos ou regiões. Como o plano diretor do município já contém uma divisão em macrozonas, o mesmo será utilizado para a aplicação no modelo.

#### **3.1 Macrozoneamento de Bagé**

Segundo Brasil (2007), no Capítulo 2 Art. 53 da Lei Complementar Nº 025 da cidade de Bagé, a cidade é dividida em macrozonas no Modelo Espacial Urbano. Macrozona é uma parcela do território que apresenta identidade e características que a tornam peculiar no Modelo Espacial Urbano. A seguir estão representadas as zonas no mapa da Figura 4.

Figura 4 - Macrozoneamento



Fonte: Adaptado de BRASIL (2015).

A seguir serão descritas as principais características de cada uma das macrozonas definidas na Figura 4 pelo Plano diretor de Bagé.

- a) macrozona central (1) - é formada por áreas urbanas centrais organizadas em traçados de linhas ortogonais, A área residencial predominante e o comercial é o setor do território melhor atendido pela infraestrutura, pelas atividades econômicas, pelos serviços públicos e onde se concentra grande parte do Patrimônio Cultural.
- b) macrozona de reestruturação (2) - é caracterizada por áreas urbanas sem estruturação, com traçado irregular, presença de vazios urbanos e de uso predominantemente residencial. Área com infraestrutura insuficiente, carência de equipamentos urbanos e áreas de lazer.

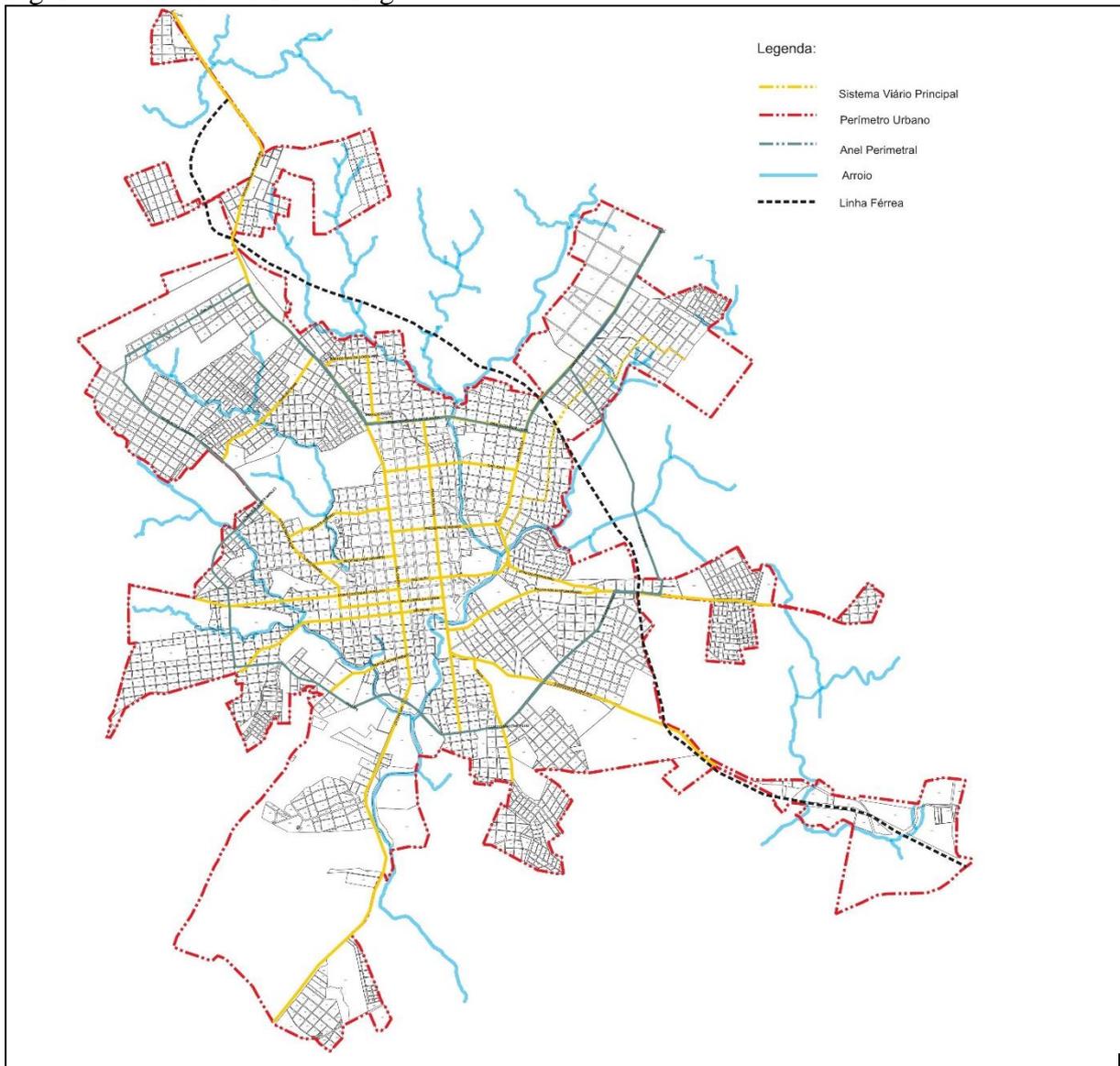
- c) macrozona de adensamento restrito (3) - são periféricas com traçado irregular e ocupação pouco densificada. Possui habitações irregulares, áreas vazias que causam descontinuidade na malha urbana. Existe ainda carência de equipamentos urbanos, áreas de lazer e os loteamentos foram projetados sem infraestrutura.
- d) macrozona universitária (4) - é composta por uma área periférica pouco densificada, de uso residencial unifamiliar, com infraestrutura deficiente, carente de equipamentos urbanos e áreas de lazer, com presença de imóveis subutilizados e não utilizados.
- e) macrozona campestre (5) - como sugere o nome, é uma área de interesse paisagístico e de conservação do ambiente natural voltada para o lazer.
- f) macrozona do anel perimetral (6) - serve como interface entre as Macrozonas de Reestruturação e de Adensamento Restrito, e sua principal função é promover a circulação do transporte pesado e o escoamento da produção, desviando-os da Macrozona Central.
- g) macrozona de produção (7) - tem-se a área que é predominantemente industrial dividida por zonas com atividades impactantes e não impactantes é chamada de Macrozona de Produção.
- h) macrozona cultural (8) - já áreas de interesse cultural relacionadas com a formação histórica e econômica do Município é chamada de Macrozona Cultural.
- i) macrozona ambiental (9) - por fim, encontram-se as áreas dos arroios localizados dentro da zona urbana de Bagé são chamadas de Macrozona Ambiental.

### **3.2 Sistema Viário**

De acordo com Brasil (2007), Art. 85 da Lei Complementar 025, é considerado Sistema Viário o conjunto de vias do município classificadas e hierarquizadas segundo critérios funcionais e estruturais, observados os padrões urbanísticos estabelecidos nesta Lei.

A função da via é determinada pelo seu desempenho de mobilidade, considerados os aspectos da infraestrutura, do uso e ocupação do solo, dos modais de transporte e tráfego veicular. Abaixo na Figura 5 encontra-se a representação do sistema viário de Bagé.

Figura 5 - Sistema Viário de Bagé



Fonte: Adaptado de BRASIL (2015).

Na Figura 5 em amarelo pontilhado destaca-se o sistema viário principal que são as principais ruas da cidade. Em vermelho pontilhado destaca o limite do perímetro urbano, fora dessas margens é considerado perímetro rural. Representa também o anel perimetral que tem como função principal promover a circulação do transporte pesado e o escoamento da produção, desviando-os da Macrozona Central. Os arroios estão representados com azul claro e por fim as linhas férreas estão caracterizadas pelo pontilhado preto.

### 3.3 A Saúde em Bagé

Segundo a Secretaria Municipal de Saúde (2015), em 2003 foi implantado a Estratégia Saúde da Família (ESF) que contam com 22 duas equipes, vinte e uma na área urbana e uma na zona rural, cobrindo 68,44% dos habitantes do município. Essas equipes estão distribuídas em dezesseis unidades de saúde da família localizadas em comunidades da periferia, contando ainda com uma unidade móvel de saúde que presta atendimento na zona rural, atendendo ao total de nove localidades. No Quadro 2 encontra-se a lista das unidades de saúde presente na cidade além da localização das mesmas.

Quadro 2 - Unidades de Saúde

<b>UNIDADE DE SAÚDE</b>	<b>ENDEREÇO</b>
<b>ESF Arvorezinha</b>	R. Pompilio Nunes, 275
<b>ESF Castro Alves</b>	R. Nice Nocchi, s/n
<b>ESF Centro Social Urbano</b>	R. Rômulo Freitas, 601
<b>ESF Damé</b>	R. 93 esq. Trav. 106
<b>ESF Passo das Pedras</b>	R. Wilson Rosa da Cruz, 1125
<b>ESF Floresta</b>	R. Cândido Portinari, 65
<b>ESF Gaúcha</b>	R. 285, s/n
<b>ESF Popular</b>	R. Capitão Ralph Pinheiro Jr, s/n
<b>ESF Mogado Rosa</b>	R. Jaime Tavares, 161
<b>ESF Santa Cecília</b>	R. Juvêncio Lemos, 1330
<b>ESF Malafaia</b>	R. Odilon Alvares, s/n
<b>ESF Dois Irmãos</b>	R. Comendador Azambuja, 306
<b>ESF São Bernardo</b>	R. Barão do Itaqui, s/n
<b>CAIC – Leopoldo Maieron</b>	Av. Tupy Silveira, anexo ao CAIC
<b>ESF Tiarajú</b>	Gal. Mallet
<b>Camilo Gomes/Laboratório</b>	R. Fabricio Pillar, 1201
<b>Eduardo Sá Monmanny</b>	R. Carlos Barbosa, 1385
<b>Mathilde Fayad/Saúde Auditiva</b>	R. Caetano Gonçalves, 801
<b>Saúde Mental - CAPS II</b>	Av. Marechal Floriano, 1499
<b>Residência Terapêutica</b>	Av. Tupy Silveira, 1740
<b>PAM I</b>	R. Gomes Carneiro, 1240
<b>CAPS AD</b>	Av. General Osório, 352
<b>Reabilitação Física/Serviço Fisioterapia</b>	Anexo à URCAMP - NPAS

Fonte: Adaptado de Secretaria da Saúde (2015)

Além da atenção básica, também é ofertado pela cidade centros de atenção especializadas e atenção hospitalar.

O município conta com o atendimento de dois hospitais de abrangência regional: Hospital Universitário Dr. Mário Araújo, com 101 leitos, sendo 60 disponíveis para usuários do SUS, além de 09 leitos na UTI adulto conforme a necessidade, possuindo bloco cirúrgico, terapia renal substitutiva, serviço de ecocardiograma; e Santa Casa de Caridade, com 177 leitos, sendo 110 disponíveis para usuários do SUS, possuindo bloco obstétrico com plantão fixo, UTI adulto, pediátrica e neonatal com plantões fixos, bloco cirúrgico, Clínica de Oftalmologia, serviço de traumatologia, sala de gesso, Pronto Socorro com plantão de sobreaviso em traumatologia, cirurgias, oftalmologia.

Apesar de existirem várias unidades de saúde distribuídas por toda a cidade, o SAMU após atender as ocorrências deve levar as vítimas para o pronto socorro da Santa Casa e para a UPA conforme é ilustrado no mapa da Figura 3(A).

#### 4 MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE UNIDADES DE EMERGÊNCIAS

Muitos casos práticos utilizam os problemas de localização de veículos para atendimento de emergências, como: localização do corpo de bombeiros, veículos de apoio mecânico, ambulâncias e embarcações para atendimento de acidentes marítimos (MEDINA, 1996).

A partir dos anos 60 diversos estudos são encontrados na literatura de Pesquisa Operacional sobre problemas de localização dos serviços urbanos de emergência. Como sistemas de atendimento médico, patrulhamento policial e corpo de bombeiros. Com o tempo vêm sendo desenvolvidos estudos com foco em problemas operacionais como número de unidades necessárias para atender uma determinada região, localização das unidades de emergência, programação de equipes, além de políticas de despacho destas unidades para atender o mais rápido possível as chamadas de emergência (CHIYOSHI; GALVÃO, 2001).

Para conhecer o número de unidades de atendimento por região, dois modelos são comumente usados para este tipo de pesquisa, são eles: método da raiz quadrada e modelos de filas.

No método da raiz quadrada, Larson e Odone (1981 *apud* TAKEDA, 2000) afirmam que o modelo consiste em estimar o tempo médio de viagem como função do número de unidades em operação. Larson (1973) assegura que a distância média percorrida em uma viagem dentro de uma região é inversamente proporcional à raiz quadrada do número de unidades da região. A constante de proporcionalidade depende da configuração do tráfego local e localização da unidade, e pode ser determinada por ferramentas geográficas ou simulação.

No modelo das filas considera-se a natureza estocástica dos processos. Com isso produz ótimos resultados do ponto de vista prático.

Com o objetivo de programar equipes médicas de emergência Trudeau *et al.* (1989) e Aubin (1992) apresentaram métodos utilizados com sucesso em Montreal, CA. O problema é formulado como um problema de programação inteira cuja função e objetivo é minimizar os custos com pessoal devendo satisfazer as necessidades horárias do sistema.

Os problemas de localização abordam tomadas de decisões sobre onde melhor localizar facilidades, levando em consideração que os clientes devem ser servidos, para otimizar um determinado critério. O termo "facilidades" pode ser entendido como fábricas, depósitos, escolas, etc., enquanto que clientes se referem a depósitos, unidades de venda, estudantes, entre outros (LORENA, 2003).

Existem vários modelos de localização descritivos e prescritivos. Dentro dos modelos descritivos os gerentes dos sistemas têm uma ajuda para comparar cenários, verificando a medida de desempenho para cada um. Já os modelos prescritivos são os modelos de otimização, onde uma ou mais medidas de desempenho são parte de uma função objetivo que será o critério a ser otimizado pelo modelo (SOUZA, 2010).

Com o intuito de descobrir a melhor localização das unidades de emergência, cada pesquisa segue um caminho próprio, como por exemplo, por meio dos problemas de tempos médios de viagem que conseqüentemente refletem nos tempos médios de resposta (estes são muitas vezes solucionados pelo método de p-medianas ou pelo método do p-centro), ou problemas de cobertura de conjuntos, entre outros.

Os problemas de localização de ambulâncias estão, em geral, definidos em grafos<sup>3</sup> não direcionados com pontos de demanda e pontos candidatos a receberem bases ou viaturas (DASKIN, 1995).

Em casos estudados, os serviços de atendimento de emergência são distribuídos por meio da demanda, geograficamente em uma região. Nesses problemas, é comum definir o nível de agregação de demandas (por distritos ou bairros, como exemplo) acumulando a demanda de cada subdivisão em um único ponto. Este ponto será acertado matematicamente no grafo pelo problema (ANDRADE; BARBIERI, 2014).

Portanto, como definição de problemas de localização de bases de veículos de emergência, habitualmente considera-se que um certo ponto de demanda está coberto se ele pode ser atendido num intervalo de tempo máximo previamente estabelecido (ANDRADE, 2012).

Dessa forma, cada arco desse grafo representa o tempo de deslocamento entre tais pontos. A escolha dos locais onde as novas unidades serão estabelecidas se restringe a um conjunto finito de locais candidatos disponíveis, diferentemente do que pode ocorrer com os pontos de demanda. (CURRET; DASKIN; SCHILLING, 2002)

Esse conhecimento de coberturas é altamente utilizado, inclusive como meio de definição de níveis de serviço. A demanda dos pontos é, geralmente, definida como o número de ocorrências por unidade de tempo. Alguns autores definem demanda como um número médio de ocorrências tomado em um horizonte de tempo suficientemente grande. Outros ainda definem a demanda como uma frequência de ocorrências computada num período de análise (RAJAGOPALAN; SAYDAM; XIAO, 2008).

---

<sup>3</sup> Conjunto de pontos, sendo que qualquer um deles pode ou não ser ligado por uma linha (ANDRADE, 2012).

Percebe-se que modelos matemáticos mais antigos relacionados com o problema de localização de viaturas de emergência, consideram definições muito restritas e genéricas para o problema.

Com o passar do tempo, foram surgindo soluções que consideram os aspectos mais realistas do problema. Como por exemplo, a localização de bases ser independente da localização de viaturas, ou o fato de existirem diferentes tipos de veículos com tempos máximos de atendimento distintos; alguns modelos ainda introduziram o conceito de cobertura múltipla que define um ponto de demanda como atendido, se ele é coberto por mais de uma viatura (BROTCORNE; LAPORTE; SEMET, 2003).

Para determinar a localização das unidades de atendimento existe a classificação de duas grandes categorias: modelos determinísticos e modelos probabilísticos ou estocásticos. Estes serão abordados nos tópicos a seguir.

#### **4.1 Modelos Determinísticos**

O modelo determinístico é geralmente baseado em uma formulação de programação linear ou inteira. E estes modelos não consideravam a probabilidade de determinada ambulância estar ocupada (RAJAGOPALAN; SAYDAM; XIAO, 2008). Além disso, assume-se que as ambulâncias estão sempre disponíveis, o que nem sempre é o caso na prática. Com esses modelos, a cobertura pode se tornar inadequados quando os veículos se tornarem ocupados (MALEKI; MAJLESINASAB; SEPEHRI, 2014).

Embora esses modelos garantem otimização, um pequeno aplicativo para análise EMS tem sido utilizado pois os modelos não conseguem captar a natureza dinâmica do sistema. (FITZSIMMONS; SRIKAR, 1982).

Toregas *et al.* (1971) e Church e ReVelle (1974) abordaram o caso mais acessível ao tratar de problemas de localização de bases de ambulâncias, onde se considera um conjunto de pontos de demanda e um conjunto de possíveis pontos dispostos num grafo,  $i$  e  $j$ , respectivamente. Qualquer arco entre os pontos  $i$  e  $j$  representam o tempo de deslocamento entre pontos. Para isso, é definido um tempo máximo de atendimento  $S$ .

O objetivo do problema é de encontrar o menor número possível de viaturas necessárias para que todos os pontos de demanda sejam cobertos. O modelo foi denominado *Location Set Covering Model* (LSCM), conhecido como o modelo clássico do conjunto de cobertura, aplicado para posicionamento de ambulâncias (TOREGAS *et al.* 1971).

Como continuação para a formulação LSCM foi proposto por Church e ReVelle (1974) o *Maximal Covering Location Problem* (MCLP). O modelo apresenta o número de instalações que se desejam posicionar é fixo, e o modelo busca maximizar a demanda coberta por essa quantidade pré-definida.

Grande parte do desenvolvimento posterior dos modelos para o problema de localização de ambulâncias foi baseado nesses dois modelos (LSCM e MCLP) (ANDRADE; BARBIERI, 2014).

#### 4.1.1 LSCM – Modelo de Localização de Cobertura de Conjuntos

Modelos de localização de ambulância são geralmente definidas em um gráfico  $G = (V \cup W, A)$ , onde  $V$  é um conjunto de nós representando pontos de demanda agregadas,  $W$  é um conjunto de potenciais locais de localização ambulância, e  $A = \{(i, j) \in V \cup W\}$  é um conjunto de arcos. Com cada arco  $(i, j)$  está associado a um  $t_{ij}$  tempo de viagem. Um ponto de demanda  $i \in V$  é coberto por local  $j \in W$  se e somente se  $t_{ij} \leq r$ , em que  $r$  é um padrão de cobertura predefinido.

Onde  $W = \{j \in W : t_{ij} \leq r\}$ , é o conjunto de localização cobrindo ponto de demanda. O modelo tem o objetivo de minimizar o número de ambulâncias necessárias para cobrir todos os pontos de demanda. Ele usa variáveis binárias  $x_j$  igual a 1 se e somente se uma ambulância está localizado na  $j$ .

O modelo LSCM apresentado por White e Case (1974) visa encontrar o menor número de ambulâncias de maneira que todos os nós de demanda tenham no mínimo uma ambulância posicionada dentro do padrão de cobertura  $r$ . Isso significa que todos terão pelo menos uma ambulância localizada dentro do padrão.

Contudo o problema considera que a população estaria totalmente coberta, até mesmo quando a ambulância estiver em atendimento de ocorrência, o que muitas vezes o modelo pode se tornar inviável. Abaixo encontra-se a formulação do modelo.

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{posiciona – se uma instalação no ponto candidato } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{Min } \sum_{j \in W} x_j \quad (2)$$

Sujeito a

$$\sum_{j \in W_i} x_j \geq 1 \quad (i \in V) \quad (3)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (j \in W) \quad (4)$$

Com isso é sabido que  $x_j$  será igual a 1 se e somente se a ambulância estiver localizada no nó  $j$ . As variáveis de decisão são definidas em (1).

A função objetivo (2) minimiza o número de bases necessárias para que sejam cobertos todos os pontos da demanda, as restrições (3) estabelecem que cada nó  $i$  de demanda deve ser coberto por no mínimo um servidor localizado dentro do padrão  $r$ . O padrão  $r$  é uma distância pré-definida entre a facilidade e um servidor. E as equações (4) definem o espaço de solução.

É importante salientar que o modelo não leva em consideração que as ambulâncias atendem aos chamados, e com isso alguns nós de demanda ficarão descobertos. Mas com esse modelo é possível determinar quantas ambulâncias serão necessárias, sabendo que o número máximo de ambulâncias pode alcançar o valor  $W$ .

Este modelo foi o modelo escolhido para o desenvolvimento do trabalho.

#### 4.1.2 MCLP – Problema de Localização de Máxima Cobertura

Church e ReVelle (1974) apresentam um problema que não requer cobertura total de todos os nós, chamado problema de localização de cobertura máxima (MCLP).

O MCLP busca maximizar a demanda coberta por uma quantidade pré-definida de instalações, o que não é o indicado, pois pode ser que o número fixo de  $p$  de facilidades seja insuficiente para cobrir toda a população dentro do padrão de cobertura. Nesse modelo o objetivo é maximizar a população ou o número de chamadas cobertas dentro do padrão  $r$ . A formulação do problema é:

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{se o ponto } i \text{ é coberto por pelo menos uma instalação} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (5)$$

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{posiciona – se uma instalação no ponto candidato } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{Max } \sum_{i \in V} d_i y_i \quad (7)$$

Sujeito a

$$\sum_{j \in W_i} x_j \geq y_i \quad (i \in V) \quad (8)$$

$$\sum_{j \in W} x_j = p \quad (9)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (j \in W) \quad (10)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad (i \in V) \quad (11)$$

Nas equações (5) e (6) são definidas as variáveis de decisão. Cada termo  $d_i y_i$  indica se a demanda do ponto  $i$  é coberta por pelo menos uma instalação, a função objetivo busca maximizar essa demanda atendida.

A restrição (8) garante que um ponto  $i$  só é considerado coberto se houver alguma instalação localizada em algum ponto candidato pertencente à  $W_i$ . A restrição (9) limita a quantidade total de bases. As equações (10) e (11) definem o espaço de busca.

Esta maximização pode ainda ser utilizada para construir uma curva que reflete o compromisso entre a população coberta e o número de facilidades utilizadas.

A principal diferença entre o LSCP e o MCLP é que o primeiro resulta no número de recursos (instalações) mínimo para cobrir todos os pontos e o segundo resulta na localização de um número pré-definido de instalações de maneira a maximizar a demanda coberta (ANDRADE, 2012).

#### 4.1.3 TEAM – *Tandem Equipment Allocation Model*

Os primeiros modelos que surgiram depois do LSCP e do MCLP foram modelos que consideravam a localização de vários tipos de veículos e bases. Após, outros modelos determinísticos foram criados, considerando conceitos de cobertura múltipla, o que significa que um determinado ponto só está coberto se um número definido de veículos atende num tempo máximo de cobertura (ANDRADE, 2012).

Para garantir que a demanda esteja coberta, mesmo quando uma ambulância está realizando um atendimento, uma saída é localizá-las de modo a garantir cobertura extra.

Dentre os modelos de cobertura extra o modelo TEAM (*Tandem Equipment Allocation Model*), apresentado por Shilling et al (1979), foi utilizado para localizar dois tipos de veículos para combate a incêndios, porém no contexto da localização de ambulâncias pode ser utilizado para a localizar veículos USB e USA. Os serviços de emergência normalmente trabalham com dois tipos de veículos com diferentes habilidades e quantidades.

Dado um número de ambulâncias básicas ( $p_B$ ) e um número de ambulâncias avançadas ( $p_A$ ) que se desejam localizar, o modelo busca maximizar a demanda coberta, sendo que um ponto só é considerado coberto se assim o for por ambos os tipos de veículos.

O trabalho de Schilling et al. (1979) estende a definição de raio de cobertura  $r$  e define dois novos parâmetros  $r_A$  e  $r_B$ . Nessa formulação diz-se que um ponto de demanda  $i \in V$  é

coberto por uma ambulância avançada posicionada numa base em  $j \in W$  se  $t_{ij} \leq r_A$ , e de maneira análoga, o ponto  $i \in V$  é coberto por uma ambulância básica posicionada em  $j \in W$  se  $t_{ij} \leq r_B$ ;  $t_{ij}$  é o tempo de deslocamento entre  $i$  e  $j$ . Define-se também, para cada ponto de demanda  $i$  os subconjuntos  $W_i^A$  e  $W_i^B$ :  $W_i^A = \{j \in W \mid t_{ij} \leq r_A\}$  e  $W_i^B := \{j \in W \mid t_{ij} \leq r_B\}$ .

Este modelo considera que a demanda estará coberta quando estiver coberta por ambos os tipos de ambulâncias, uma vez que seus tempos padrão de atendimento são diferentes.

$$x_j^A = \begin{cases} 1, & \text{posiciona – se uma instalação no ponto candidato } j; \\ 0, & \text{caso contrário;} \end{cases} \quad (12)$$

$$x_j^B = \begin{cases} 1, & \text{posiciona – se uma instalação no ponto candidato } j; \\ 0, & \text{caso contrário;} \end{cases} \quad (13)$$

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{se o ponto } i \text{ é coberto por todos os tipos de ambulâncias;} \\ 0, & \text{caso contrário;} \end{cases} \quad (14)$$

$$\text{Max } \sum_{i \in V} d_i y_i \quad (15)$$

Sujeito a

$$\sum_{j \in W_i^A} x_j^A \geq y_i \quad (i \in V) \quad (16)$$

$$\sum_{j \in W} x_j^B = y_i \quad (i \in V) \quad (17)$$

$$\sum_{j \in W} x_j^A = p^A \quad (18)$$

$$\sum_{j \in W} x_j^B = p^B \quad (19)$$

$$x_j^A \leq x_j^B \quad (j \in W) \quad (20)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (j \in W) \quad (21)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad (i \in V) \quad (22)$$

Percebe-se que as variáveis de decisão (12) e (13) são análogas as do modelo MCLP. A variável de decisão (14) considera um conceito inovador de cobertura, em que um ponto, para ser considerado coberto, deve ser coberto por ambos os tipos de veículos. Isso reflete a necessidade de considerar momentos em que uma determinada ambulância está indisponível por se encontrar alocada a um chamado.

A função objetivo (15) é igual à do MCLP, mudando somente a definição de ponto coberto. As restrições (16) e (17) seguem o mesmo raciocínio das restrições do MCLP. Mas adicionando a restrição (20) o modelo se torna diferente, segundo essas equações uma USA só pode ser localizada em  $j$  se houver uma USB também em  $j$ .

As restrições (18) e (19) limitam a quantidade de cada veículo, e as equações (21) e (22) definem o espaço de solução.

## 4.2 Modelos Probabilísticos

O que torna os modelos determinísticos inferiores aos modelos probabilísticos é que eles sempre consideram que os servidores estão disponíveis quando solicitados, o que nem sempre é a realidade em aplicações práticas.

Os modelos probabilísticos de localização de ambulância que consideram as características estocásticas do problema, utilizam resultados da teoria de filas ou somente consideram cálculos mais simples de probabilidade. Modelos mais sofisticados focam no modelo do Hipercubo de Larson, (1973).

Nos problemas de localização probabilísticos tem-se a preocupação com a origem estocástica dos sistemas reais. Nos sistemas reais, os parâmetros como tempo de viagem, custo, localização dos usuários e das unidades, demanda, disponibilidade são tidas como variáveis aleatórias (CHIYOSHI; GALVÃO; MORABITO, 2000).

Os mesmos autores ainda afirmam que muitos modelos estocásticos bem-sucedidos têm sido desenvolvidos usando representações teoria probabilística e em problemas de filas. Os modelos estocásticos geralmente usam técnicas heurísticas, ou procedimentos que produzem boas, mas não necessariamente soluções "ótimas" para localização de veículos de emergência.

O modelo mais antigo é MEXCLP (*Maximum Expected Covering Location Problem*) que é um problema de localização de máxima cobertura esperada e foi proposto por Daskin (1983).

### 4.2.1 Modelo do Hipercubo

O modelo Hipercubo é uma ferramenta específica para o planejamento de sistemas urbanos e rurais, pois considera não só a parte temporal de um problema, mas também as complexidades geográficas de uma região ou aglomerado urbano, além da política de despacho específica para cada sistema (MENDONÇA, 2002).

Trata-se de uma poderosa ferramenta matemática que tem por essência fornecer medidas de desempenho. É um modelo descritivo que não fornece a configuração ótima, pois não é um modelo de otimização. Fornece condições de avaliar o sistema a cada mudança sugerida de

possíveis cenários alternativos, fornecendo uma sofisticada avaliação de desempenho, permitindo a escolha da melhor alternativa operacional para o sistema (HELPERN, 1977).

Contudo, esse modelo torna-se uma ferramenta ainda mais robusta quando aplicado em conjunto com uma ferramenta de otimização (PAVANELLI *et al.*, 2012).

Foi proposto por Richard Larson e pode ser encontrado em Larson (1974). O modelo mais detalhadamente pode ser encontrado em Larson & Odoni (1981).

É composto por um sistema de equações que, uma vez resolvido, fornece as probabilidades de equilíbrio dos estados que o sistema pode assumir. Estas probabilidades permitem computar medidas de desempenho interessantes para o gerenciamento do sistema (MENDONÇA; MORABITO, 2000).

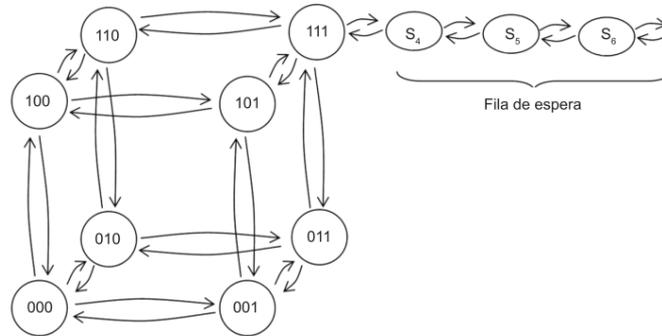
Está fundamentado na separação da região de atuação do sistema de emergência em um conjunto finito de áreas, denominados de átomos geográficos. Para que isso ocorra, é levado em consideração as distribuições espaciais e temporais dos chamados. O atendimento é feito por servidores distribuídos dentro da região, quando disponíveis. Com isso, o conjunto de átomos que o servidor deve atender prioritariamente é conhecido como área de cobertura primária. Se der o acaso do servidor preferencial estar ocupado, o atendimento é desviado para outro, de acordo com lista de preferência de despachos definida anteriormente pelo sistema (FERRARI; NASSI, 2015).

A ideia é basicamente expandir o espaço de estados de um sistema de fila  $M/M/m$  onde  $m$  corresponde ao número de servidores, com o intuito de representar cada servidor individualmente no sistema e conseguir agrupar as complexidades envolvidas na política de despacho (IANNONI; MORABITO, 2006a).

Para cada posição do sistema satisfaz um vértice de um hipercubo. Um vértice do sistema é representado pela lista de servidores que estão livres e ocupados. Existem dois estados possíveis para cada servidor, livre (0) ou ocupado (1). Então temos  $2^N$  estados para o sistema.

A Figura 6 mostra o espaço de estados para sistemas com  $N = 3$ .

Figura 6 - Espaço de estados para sistemas com três servidores



Fonte: SOUZA *et al.*, 2013.

O modelo é solucionado se o conjunto de equações estiver equilibrado para o sistema. Os resultados são obtidos através dos valores das probabilidades de equilíbrio do estado do sistema (MÁXIMO *et al.*, 2014).

Por meio destas probabilidades podem ser estimadas importantes medidas de desempenho para análise e gerenciamento do sistema, tais como cargas de trabalho dos servidores, tempo médio de resposta aos usuários e frações de despacho de cada servidor para cada região (IANNONI; MORABITO, 2006b).

O modelo hipercubo trata tanto sistemas em que não é permitida a formação de fila, como aqueles em que quando todos os servidores estão ocupados, os chamados que chegam esperam em uma fila por meio da qual os usuários são atendidos à medida em que os servidores tornam-se desocupados segundo a disciplina FCFS (*First Come First Served*) que a tradução literal significa que o primeiro a chegar é o primeiro a ser servido (SOUZA *et al.*, 2013).

### 4.3 Clustering

Em alguns problemas de exploração de dados, faz-se necessário o agrupamento dos dados de acordo com alguma métrica de similaridade predefinida. Em tais casos, podem ser aplicados algoritmos de *Clustering*, ou análise de *clusters*. Existem diversos algoritmos de clustering, sendo que o *k-means* é um dos mais utilizados (XU E WUNSCH, 2009).

O *k-means* tem como objetivo particionar um conjunto de dados em um certo número predefinido de subconjuntos, também chamados de *clusters*.

Formalmente, um algoritmo de *clustering* pode ser definido da seguinte forma: Dado um conjunto de elementos:  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ , onde cada elemento é um vetor real  $d$ -dimensional, o algoritmo *k-means* visa particionar os  $n$  elementos em  $k$  conjuntos distintos,

sendo que conjunto tem um centro, ou centroide, representado por  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ , onde  $k \in n$ . Os elementos são particionados no sentido de minimizar alguma função de avaliação, que tipicamente é a distância euclidiana. Logo, o objetivo do algoritmo de clustering é minimizar a soma das distâncias entre cada elemento e o centro do cluster a que pertence. Tendo-se que  $\mu_i$  é a media dos pontos em  $C_i$ , a função objetivo do clustering é dada por:

$$\underset{c}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^k \sum_{e \in C_i} \|e - \mu_i\|^2 \quad (23)$$

## 5 METODOLOGIA

Neste capítulo são definidos os métodos que foram seguidos nas etapas desse estudo, de forma a alcançar os objetivos e metas propostos. A Figura 7 apresenta os procedimentos utilizados na pesquisa.

Figura 7 - Fluxograma geral da metodologia para o desenvolvimento do trabalho



Fonte: Autora (2016).

A seguir serão descritos cada um dos itens dos procedimentos metodológicos adotados na presente pesquisa.

### 5.1 Escolha do Local

O local escolhido, conforme a etapa 5.1 da Figura 7, foi o SAMU da cidade de Bagé, Rio Grande do Sul. Visto que os serviços de emergência são de extrema importância, atendem casos de vida ou morte, onde qualquer mínima melhoria no serviço já é capaz de salvar vidas onde o serviço visa sempre salvar mais vidas em tempos menores.

Apesar de não pertencer a uma região metropolitana, Bagé possui uma população estimada de 121.749 habitantes e conta com uma área de 4.095,534 km<sup>2</sup> conforme IBGE (2015), o que torna o estudo interessante para a cidade pois as ocorrências se concentram na maioria das vezes nos limites da zona urbana, as macrozonas da cidade estão bem definidas, os bairros

estão, a maioria, concentrado no centro urbano e é fácil localizar as ocorrências que fazem parte das cidades vizinhas.

Após contato com a coordenadoria do SAMU juntamente com a empresa denominada de True, que presta serviços para o arquivamento dos dados de cada ocorrência, soube-se que somente a partir de 2011 os chamados atendidos pela SAMU local vêm sendo armazenados em um sistema eletrônico, antes disso o controle era realizado apenas por meio de fichas manuais. No período que compreende os anos de 2011 até novembro de 2015 foram socorridos mais de 48 mil casos, dados mais que suficientes para a pesquisa. O ano de 2013 foi escolhido como objeto de análise da pesquisa porque apresenta seus dados apresentados de forma mais completa na planilha ofertada.

## **5.2 Coleta e Tratamento dos Dados do SAMU**

Conforme a etapa 5.2 da Figura 7, após as devidas autorizações, os dados foram disponibilizados em formato Excel “.xls” de planilhas eletrônicas pelo SAMU, sendo esses: data, hora, região, cidade, bairro, logradouro, número, referência, latitude, longitude, paciente, sexo, idade, queixa principal, tipo de ocorrência, gravidade, diagnóstico, tipo de equipe, hospital destino, hora de saída do SAMU, hora de chegada no SAMU, hora de chegada no local da ocorrência, hora de saída do local da ocorrência, hora de chegada no pronto socorro, hora de saída do pronto socorro. Os dados utilizados foram principalmente latitude, longitude, tipo de ocorrência e os tempos resposta.

Esses dados são os mesmos que se encontram no boletim de ocorrências do Quadro 1 que são transcritos para planilhas.

Com os dados da planilha à disposição, estes foram tratados e manipulados por meio de planilhas eletrônicas do Excel. Foram realizadas diversas análises por meio de tabelas, gráficos entre outros.

A Figura 8 elucida a forma como a planilha foi disponibilizada, com os dados separados por anos. As informações sigilosas foram apagadas da ilustração.

Figura 8 - Planilha SAMU

1	CHAMADO	MOTIVO	DATA	DIA	HORAR	HORA	REGIAO	CIDADE	BAIRRO	LOGRADOURO	NUMER	REFERENC	CHAMADO_GPS_LA-T	CHAMADO_GPS_LON	PAC
2	142474	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	00:23	0	BAGE	BAGE							
7	142495	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	01:46	1	BAGE	BAGE							
9	142504	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	02:56	2	BAGE	BAGE							
11	142515	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	05:33	5	BAGE	BAGE							
12	142522	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	07:31	7	Lavras do Sul	LAVRAS DO SUL							
14	142528	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	09:03	9	BAGE	BAGE							
15	142532	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	09:20	9	Dom Pedrito	DOM PEDRITO							
19	142547	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	12:03	12	BAGE	BAGE							
20	142549	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	12:06	12	BAGE	BAGE							
22	142555	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	12:26	12	Dom Pedrito	DOM PEDRITO							
23	142557	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	12:39	12	BAGE	BAGE							
24	142558	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	12:4										
26	142564	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	13:5										
27	142566	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	13:5										
29	142576	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	15:5										
32	142592	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	17:2										
34	142605	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	19:5										
36	142609	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	20:49			BAGE							
43	142628	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	22	22	BAGE	BAGE							
46	142636	SOCORRO	01/01/2015	Quinta	23	23	BAGE	BAGE							
48	146345	SOCORRO	01/02/2015	Dom	01:35	1	BAGE	BAGE							
49	146346	SOCORRO	01/02/2015	Domingo	01:44	1	BAGE	BAGE							

Fonte: SAMU (2015).

Buscando identificar somente os dados de interesse para a pesquisa foram aplicados diversos filtros dentro do banco de dados do SAMU de Bagé.

A seguir serão apresentados e justificados estes filtros:

- Cidade: visto que o serviço atende Aceguá, Bagé, Candiota, Dom Pedrito, Hulha Negra e Lavras do Sul, o primeiro filtro aplicado foi para selecionar apenas as ocorrências da cidade de Bagé, foco do estudo, excluindo as cidades vizinhas;
- Tipo de equipe: os tipos de equipes usados foram apenas às de ambulâncias básicas e avançadas;
- Ano: foi verificado o ano que mais existiam ocorrências e o selecionado foi o de 2013;
- Latitude e Longitude: por fim, foi considerada também apenas as ocorrências que existiam as coordenadas geográficas disponibilizados pelos arquivos do SAMU, sem elas não seria possível mapear as ocorrências.

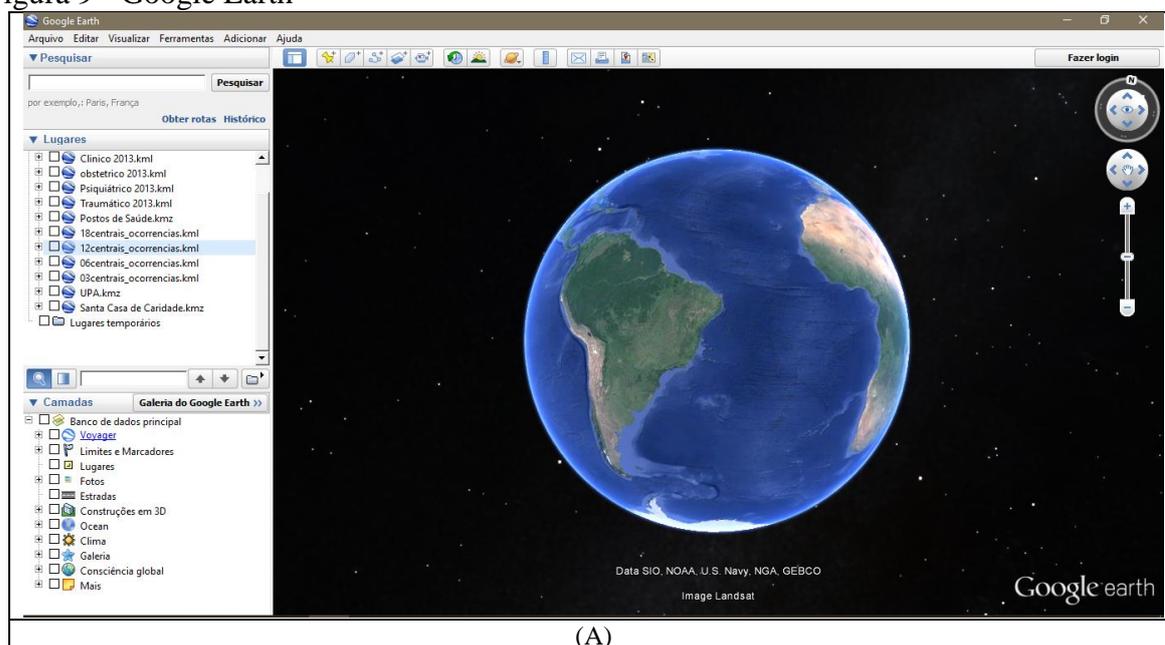
Após aplicados os filtros necessários para dar continuidade ao trabalho restaram 4023 ocorrências.

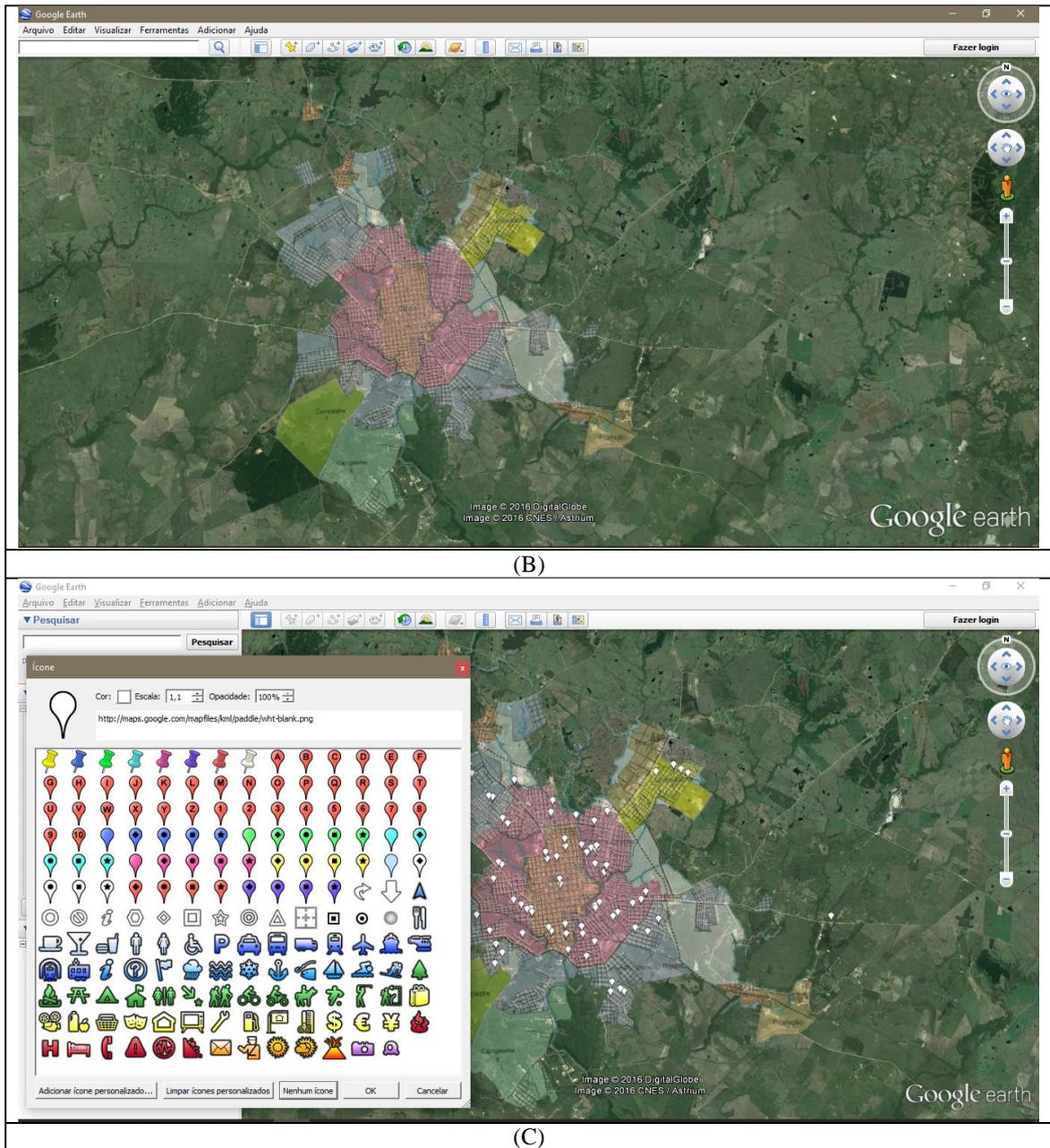
### 5.2.1 Localizar e Mapear Ocorrências

Para uma melhor visualização das ocorrências do ano de 2013, foi necessário plotar as ocorrências em coordenadas geográficas transformadas para *Keyhole Markup Language* (KML) por meio do *software* Google Earth, conforme 5.2.1 da Figura 7.

No Google Earth é possível visualizar as ocorrências de uma forma mais ampla, podendo assim organizar o mapa conceitual com as ocorrências do ano de 2013. Na Figura 9 se encontra a apresentação do *software* do Google Earth conforme Figura 9 (A), onde do lado direito desta figura encontram-se o ícone lugares onde contém os diferentes casos como: clínico, obstétrico, traumático e psiquiátrico. A cidade de Bagé com as macrorregiões destacadas encontra-se na Figura 9 (B) e por último a colocação das ocorrências por tipo na Figura 9 (C), onde o *software* dispõe de uma biblioteca de símbolos que foram escolhidos para representar cada tipo de ocorrência.

Figura 9 - Google Earth





Fonte: Adaptado de Google Earth (2016)

A Tabela 1 ilustra como estão representados os tipos de ocorrências clínico (A), traumático (B), psiquiátrico (C) e obstétrico (D) com o respectivo símbolo adotado e número de inserções no mapa da Figura 9 (C).

Essa legenda será utilizada durante a realização de todo o trabalho.

Tabela 1 - Legenda das Ocorrências

Tipo de Ocorrência	Símbolo Utilizado	Número de Ocorrências
Clínico (A)		2898
Traumático (B)		767
Psiquiátrico (C)		329
Obstétrico (D)		105

Fonte: Adaptado de Google Earth (2016).

## 5.2.2 Modelos Matemáticos para a Resolução do Problema

Aplicados os filtros necessários, para prosseguir com a pesquisa foi necessário definir o modelo que seria utilizado para encontrar o número ideal e a localização das ambulâncias, conforme ilustra o item 5.2.2 da Figura 7.

Modelos de localização de ambulância são geralmente definidas em um gráfico  $G = (V \cup W, A)$ , onde  $V$  é um conjunto de nós representando pontos de demanda agregadas,  $W$  é um conjunto de potenciais locais de localização ambulância, e  $A = \{(i, j) \in V \cup W\}$  é um conjunto de arcos. Com cada arco  $(i, j)$  está associada a um tempo de viagem  $(t_{ij})$ . Um ponto de demanda  $i \in V$  é coberto por local  $j \in W$  se e somente se  $t_{ij} \leq r$ , em que  $r$  é um padrão de cobertura predefinido. Onde  $W_i = \{j \in W : t_{ij} \leq r\}$  o conjunto de sites de localização cobrindo ponto de demanda  $i$ . Visto que o modelo LSCM serviu como embasamento para todos os outros novos modelos existentes, foi escolhido para seguir com o trabalho. Nos próximos tópicos serão descritas as principais etapas destes processos.

### 5.2.2.1 Definições das Demandas

O primeiro passo para aplicar o LSCM foi definir os pontos de demanda. Como os pontos de demanda do SAMU da cidade de Bagé estão dispersos por toda a cidade, então o atendimento do serviço deverá ser realizado por todos os pontos da cidade. Para simplificar a modelagem do problema, os conjuntos de nós que representam pontos de demanda da cidade foram definidos através do algoritmo de *clustering*, apresentado no item 4.3 pela equação 23.

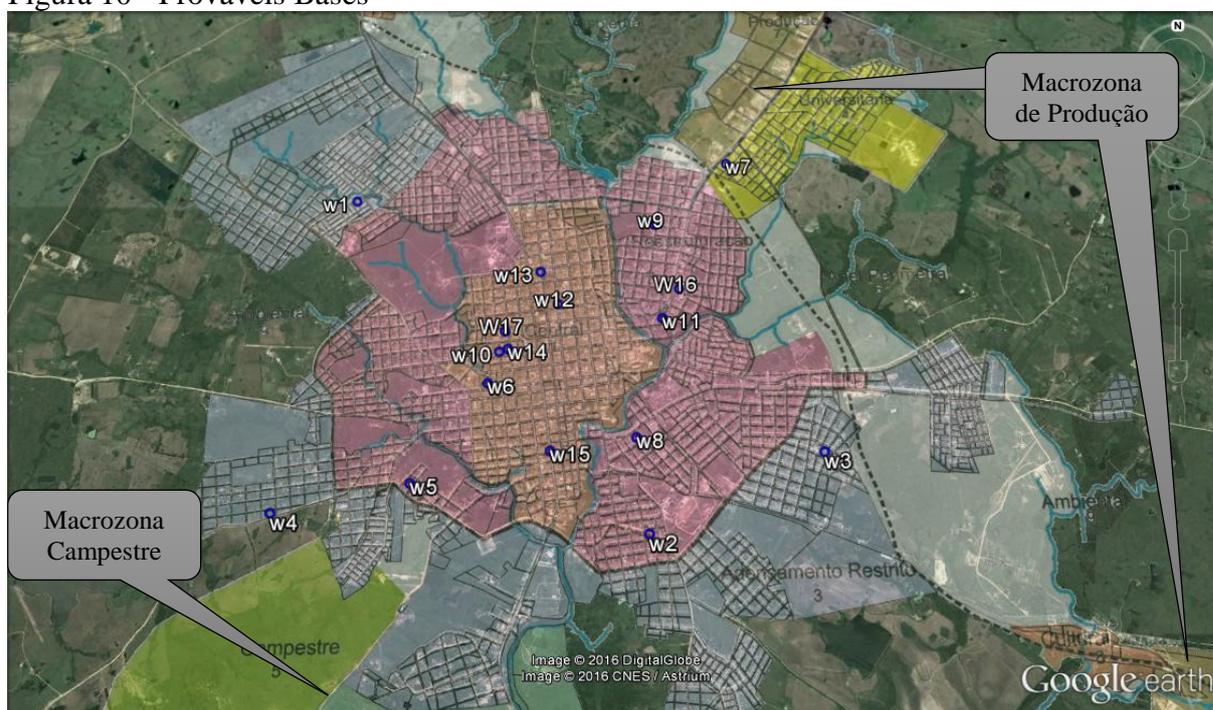
No problema em questão, cada elemento  $e$  é um vetor bidimensional, composto pelos valores de latitude e longitude de uma ocorrência de acidente. O valor  $k$  é a quantidade de

centros de demanda que se pretende criar. Foram feitas diversas simulações com diferentes valores para  $k$ . A função objetivo é a minimização das distâncias entre os acidentes e o centro de demanda mais próximo. Para cada valor de  $k$ , foi medida a distância média de um acidente para o centro de demanda mais próximo. Como resultado do processo de clustering, pode ser apresentado o diagrama de Voronoi, que mostra com diferentes cores as células representando os centros de demanda que será caracterizado pelo símbolo de letra  $v$ .

### 5.2.2.2 Definição das Prováveis Bases de Ambulâncias

Com os centros de demandas definidos, foi necessário definir os locais onde estariam localizadas as prováveis bases de ambulâncias. Para isso foi escolhido pontos já existentes, como os postos de saúde da zona urbana da cidade, o SAMU atual e a UPA, totalizando dezessete possíveis bases. A Figura 10 ilustra como ficou distribuído as bases nas macrorregiões disponível no Google Earth.

Figura 10 - Prováveis Bases



Fonte: Adaptado de Google Earth (2016).

Na Figura 10 é possível perceber que as prováveis bases estão bem distribuídas na cidade, sendo encontradas na maioria das macrozonas. As macrorregiões que não se encontram

prováveis bases são regiões onde existem pouca ou nenhuma população como, por exemplo, na macrozona campestre e na macrozona de produção destacadas na Figura 10.

Ainda na Figura 10 é possível identificar que a UPA é representada pelo ponto w16 e a base do SAMU atual é representada pelo ponto w17. Com essas informações foi possível construir as matrizes no Excel com as distâncias, em quilômetros, entre as demandas (v) e as prováveis bases (w). Essas matrizes estão representadas no item 6.2.1.

### 5.2.2.3 Lindo

Formulando o modelo do LSCM para os dados de bases (w) e demandas (v) existentes no problema, utilizou-se o *software* Lindo™ para descobrir se o número de ambulâncias existentes na cidade de Bagé é suficiente e/ou encontrar o número de ambulâncias necessários e, também, definir a localização ótima do SAMU. A Figura 11 ilustra como é o funcionamento deste *software* com um exemplo de uma programação linear com suas respectivas restrições.

Figura 11 - *Software* Lindo

```

LINDO
File Edit Solve Reports Window Help
min x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10+x11+x12+x13+x14+x15+x16+x17
s. t.
x7+x8+x9+x10+x11+x12+x13+x14+x16+x17>=1
x2+x3+x8+x11>=1
x2+x6+x8+x10+x11+x12+x14+x15>=1
x9+x12+x13+x17>=1
x7>=1
x5+x6+x8+x10+x12+x13+x14+x15+x17>=1
x1+x13>=1
x6+x9+x10+x11+x12+x13+x14+x15+x16+x17>=1
x4+x5+x6>=1
x2+x5+x6+x8+x10+x12+x13+x14+x15+x17>=1
x4+x5>=1
x6+x8+x10+x11+x12+x13+x14+x15+x16+x17>=1
x1>=1
x1+x6+x10+x12+x14+x15+x17>=1
x2+x8>=1
x7+x9+x11+x12+x13+x16>=1
end
int 17

```

Fonte: Adaptado de Lindo (2016)

Na Figura 11 encontra-se a função objetivo do problema, que seriam todas as bases das ambulâncias representadas pelos códigos  $x_1, x_2, \dots, x_{17}$ .

Após isso foi verificado nas matrizes quais possuem uma distância menor a quatro quilômetros que é o valor de  $r$ , na página 33 do item 4.1.1 se encontra a explicação mais detalhada, com essa informação se forma as restrições do problema. Resolvendo esse problema para diferentes demandas, conforme o item 5.2.2.1, o *software* irá informar o número de ambulâncias necessárias e suas respectivas localizações.

## 6 RESULTADOS

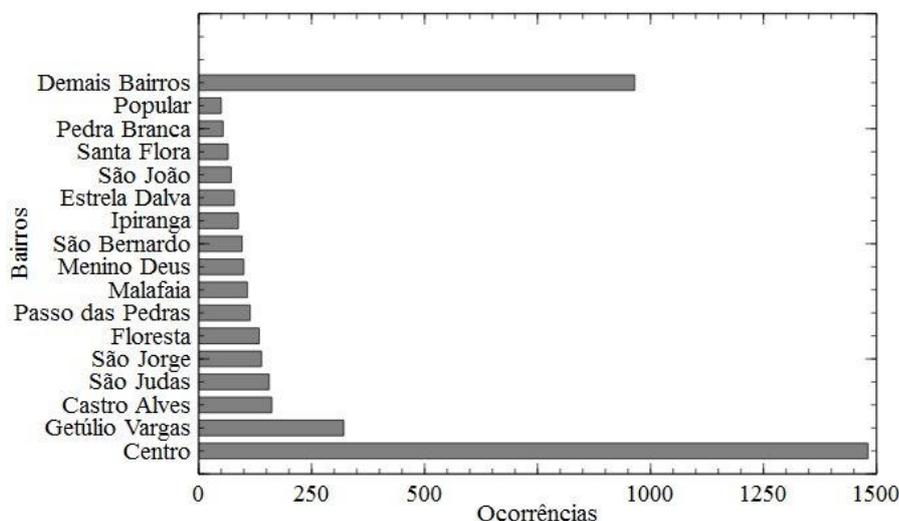
Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados encontrados nas análises apresentadas nos itens 5.1, 5.2, 5.2.1 e 5.2.2 da metodologia deste trabalho.

### 6.1 Banco de Dados

Aplicados os filtros conforme foi descrito no item 5.2 da metodologia, restou 4.023 ocorrências para a realização do estudo. Com isso foi possível encontrar vários dados que serão apresentados para o conhecimento geral do trabalho como por exemplo: ocorrências por bairros, por turno, dia de semana, por sexo e por tipo de ambulância.

Analisando as planilhas de Excel constatou-se que as ocorrências estão distribuídas em 66 bairros da cidade de Bagé atendidos pelo serviço durante o ano de 2013. A Figura 12 mostra os bairros onde mais ocorreram os chamados durante o período.

Figura 12 – Ocorrências por Bairros



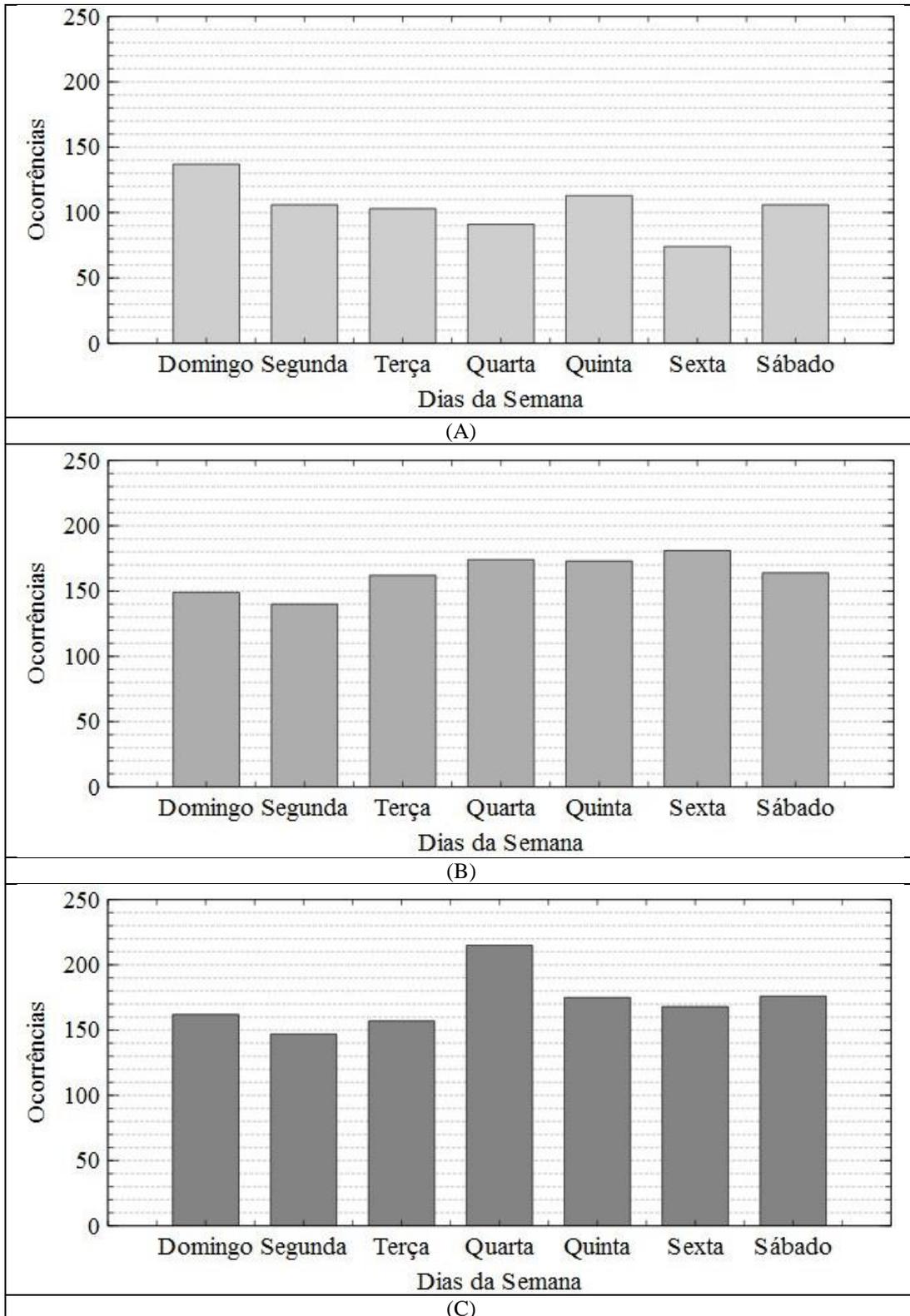
Fonte: Adaptado de SAMU (2016)

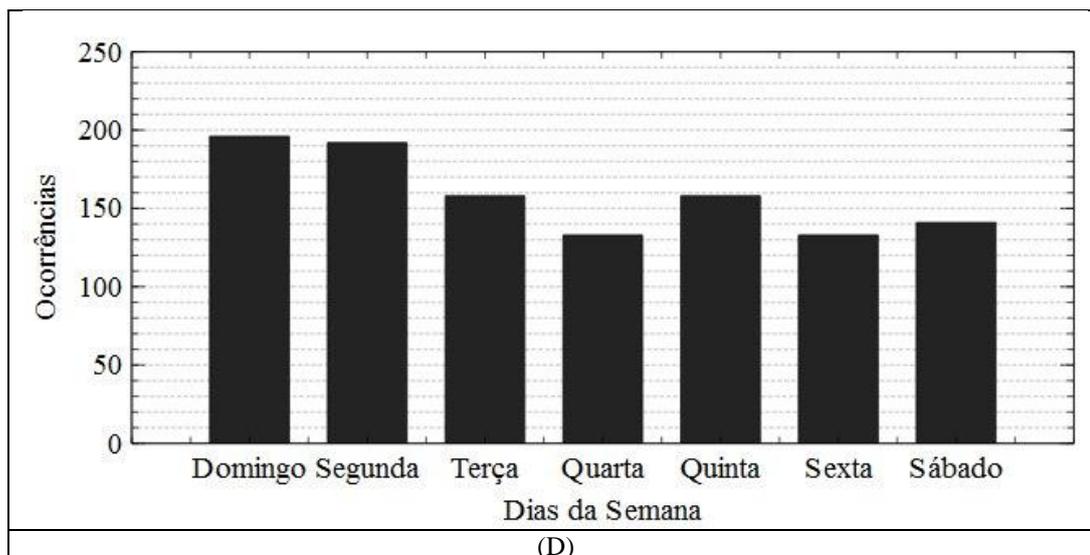
O bairro centro foi onde ocorreram mais chamados, seguido pelo bairros Getúlio Vargas, Castro Alves. A opção demais bairros está representando os que obtiveram menos de 50 ocorrências, por esse motivo estão juntos.

A macrozona central foi onde se concentraram mais as ocorrências, comprovando a análise visual realizada por meio do mapa conceitual que será visto a seguir na Figura 14.

A Figura 13, apresenta gráficos separados por turnos [madrugada (A), manhã (B), tarde (C) e noite (D)] e relaciona o número de ocorrências por dia da semana.

Figura 13 - Ocorrências Turnos





Fonte: Adaptado de SAMU (2016)

Analisando as informações dos gráficos acima, é notável que durante o período da madrugada foi o que menos ocorreu chamamentos. Não existe um padrão quanto ao dia da semana com mais ocorrências, mas domingo foi o dia da semana no ano de 2013 que aconteceu mais chamados.

A seguir a Tabela 2 mostra outras relações como: sexo, tipo de ambulância e o percentual total.

Tabela 2 – Dados das variáveis sexo e tipo de ambulâncias

Identificação	Sexo		Ambulâncias	
	Feminino	Masculino	Avançada	Básica
<b>Número</b>	2151	1872	790	3233
<b>Percentual total (%)</b>	53,5	46,5	19,6	80,4

Fonte: Adaptado de SAMU (2016)

É perceptível que o maior número de ocorrências em relação ao sexo foi encontrado com mulheres. Ainda é visível na Tabela 2 a diferença de chamados para uso das ambulâncias, avançada e básica, quase 80% foram realizados por ambulâncias do tipo básica (USB), e 20% por ambulâncias do tipo avançada (USA) no ano de 2013.

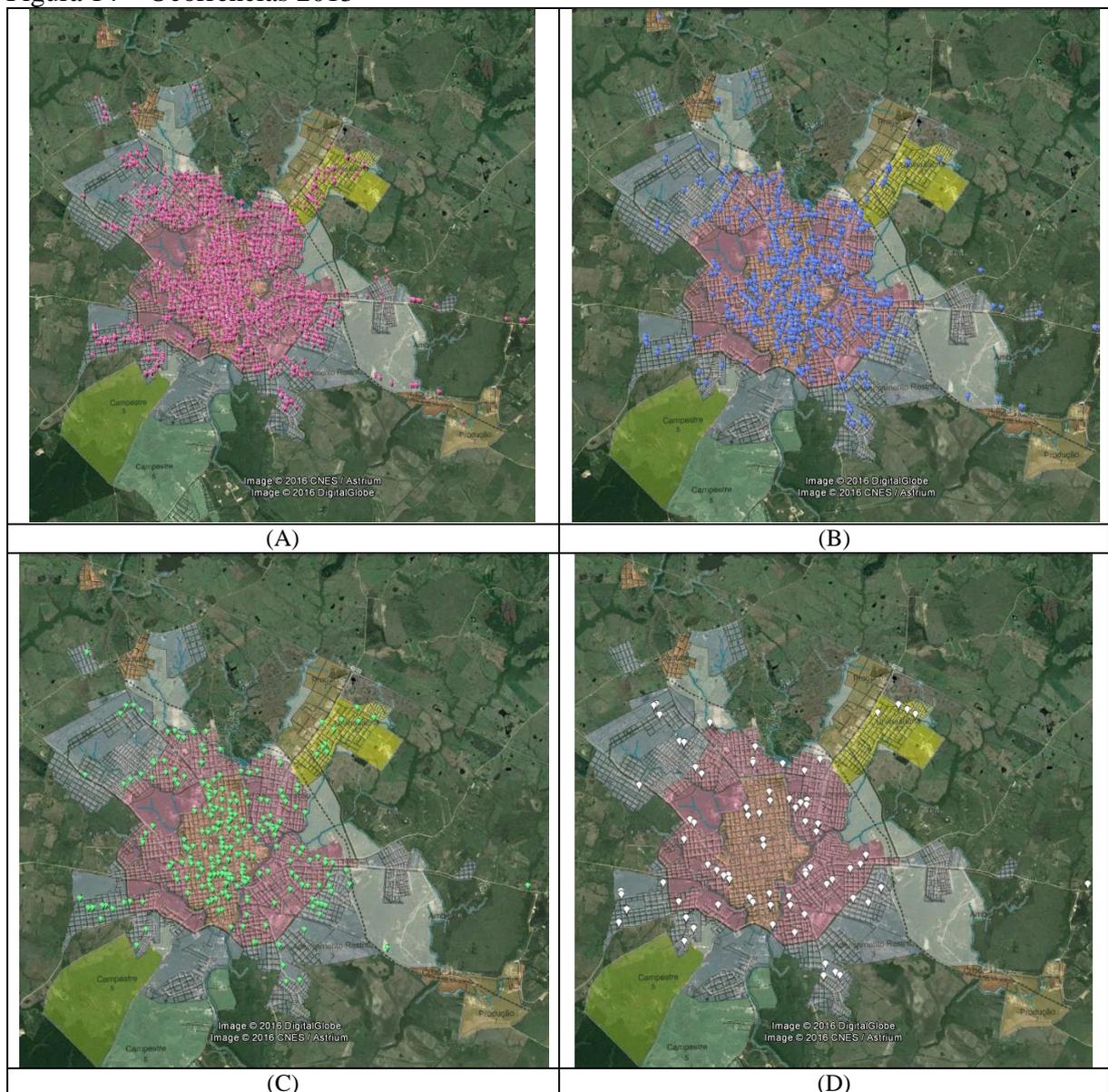
Vale ressaltar que o SAMU de Bagé conta atualmente com apenas uma base de operação e quatro ambulâncias, sendo três USB e uma USA.

### 6.1.1 Google Earth

Com o auxílio do Google Earth foi possível plotar todas as ocorrências do ano de 2013 no mapa de Bagé, construindo assim o mapa conceitual. Através do mapa foi possível analisar visualmente as ocorrências clínicas Figura 14 (A), traumáticas Figura 14 (B), psiquiátricas Figura 14 (C) e obstétricas Figura 14 (D), conforme a legenda presente na Tabela 1.

Com o mapa conceitual também foi possível verificar como se comportam os eventos (ocorrências) dentro da cidade.

Figura 14 – Ocorrências 2013



Fonte: Adaptado de Google Earth (2016)

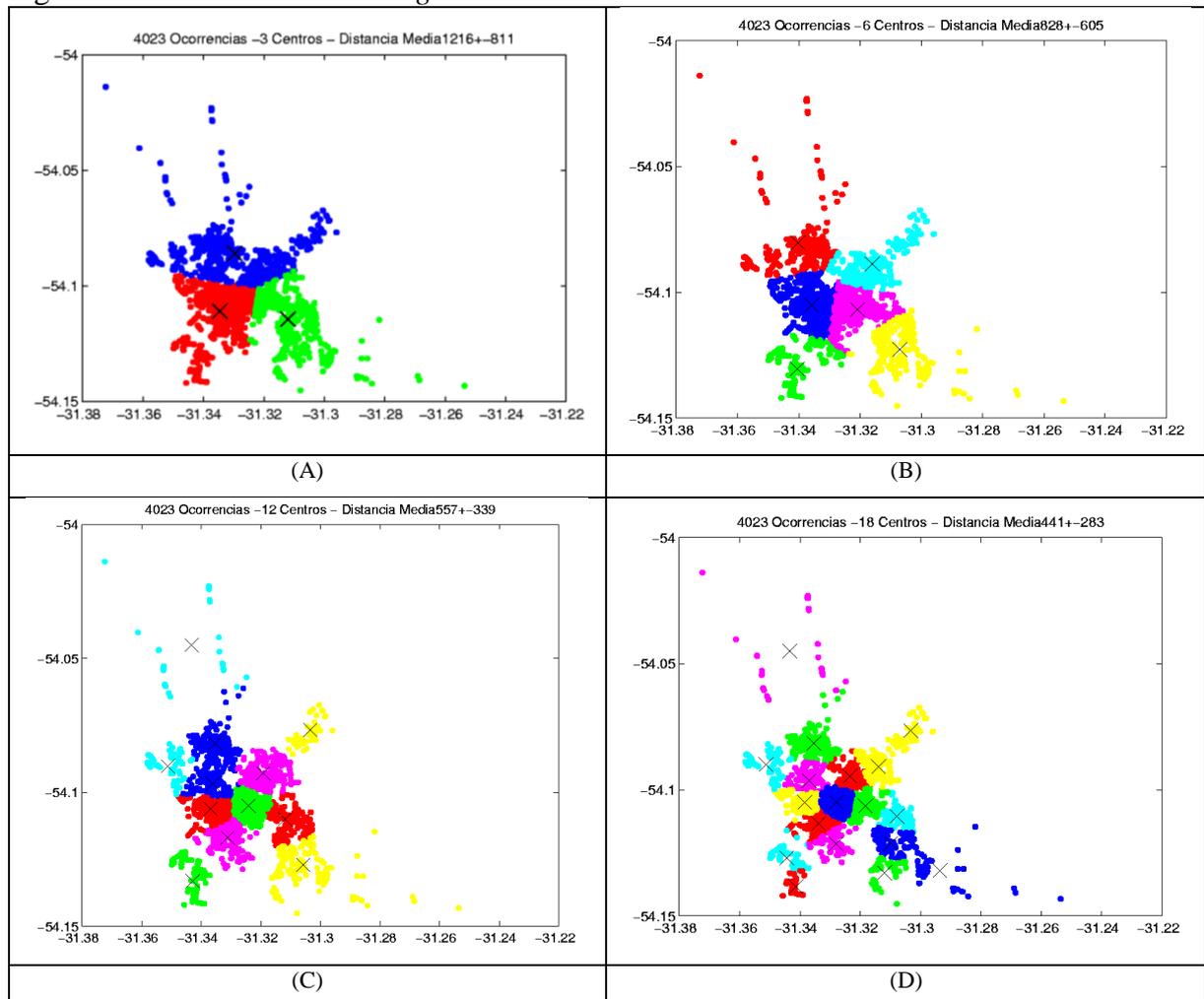
Em uma análise visual é possível perceber a concentração das ocorrências na macrozona central da cidade, tirando as do tipo obstétricas que estão mais espalhadas por todas as macrozonas. Além da macrozona central é visto que se acumulam ocorrências nas macrozonas onde existem maior população.

É visível nos mapas que as ocorrências que tem maior volume são as clínicas, seguido por traumáticas, psiquiátricas e a que menos ocorrem são as obstétricas.

### 6.1.2 Clustering

A seguir os resultados encontrados ao rodar o algoritmo de *clustering* são representados pelos diagramas de Voronoi: três centros de demanda na Figura 15 (A), seis centros de demanda Figura 15 (B), doze centros de demanda Figura 15 (C) e por fim dezoito centros de demanda Figura 15 (D).

Figura 15 - Demandas *Clustering*



Fonte: Autora (2016)

Na Figura 15 (A) a distância média entre os pontos de demanda até os três centros de demanda é de 811 à 1216 metros, na Figura 15 (B) a distância média entre os pontos de demanda até os seis centros de demanda é de 605 a 828 metros, na Figura 15 (C) a distância média entre os pontos de demanda até os doze centros de demanda é de 339 a 557 metros, e por fim na Figura 15 (D) a distância média entre os pontos de demanda até os dezoito centros de demanda é de 283 a 441 metros.

Com as demandas e as prováveis bases definidas no clustering, foi possível construir as matrizes com a distância, em quilômetros, entre o conjunto de nós dos locais de instalação de bases candidatas ( $w$ ) e o conjunto de nós que representam os pontos demandas ( $v$ ).

Nas tabelas a seguir ilustram como essas matrizes ficaram após o cálculo da distância entre cada base e sua respectiva distância. A distância foi encontrada por meio do *software* Google Earth. A Tabela 3 apresenta a matriz com as distâncias entre as 3 demandas e 17 prováveis bases.

Tabela 3 – Matriz de Distâncias (3x17)

	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16	w17
v1	3,9	2,8	4,3	2,7	1,8	0,5	5,0	1,8	3,9	0,7	2,7	1,9	2,4	0,8	0,85	1,0	3,2
v2	7,0	3,7	2,0	5,6	4,8	2,7	3,2	2,1	2,5	2,9	1,1	2,5	3,2	2,8	2,9	3,0	1,4
v3	2,0	5,0	6,6	5,9	5,0	3,0	3,3	4,2	2,7	2,5	3,3	2,2	1,4	2,4	3,3	2,2	3,8

Fonte: Autora (2016).

A Tabela 4 mostra a matriz com as distâncias entre as 6 demandas e 17 prováveis bases.

Tabela 4 - Matriz de Distâncias (6x17)

	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16	w17
v1	7,4	2,0	0,7	6,3	4,7	4,4	5,4	2,0	4,7	4,4	2,5	4,2	4,7	4,3	3,2	2,9	4,5
v2	4,6	1,9	3,5	3,4	2,3	1,2	4,9	1,0	3,5	1,5	2,3	1,6	1,8	1,4	0,35	2,9	1,6
v3	4,2	4,5	6,5	0,8	1,1	2,6	7,7	4,1	6,3	3,1	5,1	4,3	4,5	3,3	3,3	5,6	3,5
v4	3,7	3,6	4,9	4,7	3,9	2,0	3,6	2,7	1,8	1,3	1,8	0,45	0,09	1,2	2,5	2,4	1,0
v5	5,1	4,7	4,3	6,7	5,8	3,9	1,3	3,4	0,65	3,3	1,3	2,4	2,2	3,1	4,1	0,9	2,9
v6	1,4	6,6	8,0	7,0	6,2	4,5	5,0	5,7	3,7	4,1	4,9	3,3	2,9	3,9	5,2	4,8	3,7

Fonte: Autora (2016).

Na Tabela 5 encontra-se a matriz com as distâncias entre as 12 demandas e 17 prováveis bases

Tabela 5 - Matriz de Distâncias (12x17)

	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16	w17
v1	2,5	4,8	6,1	5,6	4,8	2,9	3,2	3,8	1,9	2,2	3,3	1,6	1,1	2,1	3,3	2,9	1,9
v2	7,5	2,2	0,7	6,3	4,9	4,0	4,6	2,2	3,5	4,3	2,0	3,4	3,9	4,2	3,2	2,5	4,4
v3	4,2	3,1	4,4	4,5	3,6	1,7	3,6	2,1	2,2	1,1	1,3	0,06	2,6	0,95	1,9	1,9	0,75
v4	3,0	3,8	5,1	3,0	2,1	0,45	5,6	2,7	4,2	0,8	3,0	2,3	2,4	0,95	1,9	3,4	1,1
v5	11,3	7,1	5,1	10,5	9,3	8,2	7,2	6,5	7,6	8,0	6,2	7,7	8,1	7,9	7,4	6,7	8,1
v6	1,0	7,5	9,0	6,8	5,9	4,3	5,9	6,5	4,7	4,3	6,1	4,4	4,0	4,4	5,8	5,7	4,6
v7	4,5	2,1	3,7	3,3	2,1	1,2	5,1	1,0	3,7	1,4	2,5	1,8	2,0	1,3	0,2	3,1	1,5
v8	5,4	1,5	2,7	4,2	2,9	2,3	4,4	0,27	3,2	2,3	1,8	2,0	2,6	2,2	1,0	2,1	2,4
v9	4,6	4,7	6,6	0,28	1,4	2,7	7,8	4,2	6,4	3,2	5,1	2,1	4,6	3,4	3,4	5,7	3,6
v10	5,0	4,0	3,6	6,1	5,2	3,3	1,7	2,8	0,6	2,7	0,65	4,5	1,7	2,5	3,5	0,4	2,3
v11	7,2	0,95	2,6	5,4	3,6	4,1	7,3	1,9	6,1	4,1	4,7	4,7	4,8	4,0	2,7	5,2	4,2
v12	6,8	6,9	4,9	8,9	8,0	6,1	1,3	5,6	2,8	5,5	3,5	4,7	4,6	5,3	6,3	3,1	5,3

Fonte: Autora (2016).

E por fim, na Tabela 6 a matriz das distâncias entre as 18 demandas e 17 prováveis bases.

Tabela 6 - Matriz de Distâncias (18x17)

	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16	w17
v1	5,8	3,7	3,3	5,6	4,8	2,9	2,5	2,4	1,2	2,0	0,2	1,1	1,9	1,9	2,7	0,4	1,9
v2	3,4	7,9	9,4	8,7	7,9	6,0	6,3	6,9	5,0	5,2	6,0	4,9	4,1	5,0	5,9	6,1	5,0
v3	7,7	2,2	0,7	6,5	4,9	4,6	5,3	2,3	3,5	3,8	2,2	3,5	4,3	3,7	3,1	2,7	4,5
v4	5,6	1,5	2,7	4,4	3,0	2,5	4,7	0,0	3,6	2,4	2,2	2,2	3,0	2,3	1,2	2,6	2,6
v5	2,7	5,2	6,5	6,2	5,4	3,5	3,6	4,3	2,4	2,8	3,4	2,5	1,6	2,7	3,6	3,4	2,5
v6	7,4	7,5	7,1	9,4	8,6	7,1	1,3	6,2	3,4	6,1	4,2	5,3	5,1	6,0	6,8	3,7	5,7
v7	3,4	3,3	4,5	2,6	1,7	0,3	5,7	2,1	3,9	0,8	2,7	1,9	2,2	1,0	1,1	3,3	1,1
v8	1,0	6,8	8,3	6,3	5,5	3,8	5,1	5,7	3,9	4,9	4,8	3,7	2,3	3,9	4,8	4,4	3,8
v9	3,6	3,9	5,4	5,2	4,4	2,5	3,2	2,9	1,4	1,7	1,9	0,6	0,4	1,6	2,4	1,7	1,4
v10	12,1	7,1	5,1	10,5	9,2	8,2	8,8	6,5	7,6	8,0	6,2	7,6	8,3	7,9	7,3	6,7	8,1
v11	5,3	3,9	6,3	1,2	0,9	2,4	7,5	3,9	6,0	2,9	4,8	4,0	4,5	3,1	3,0	5,4	3,3
v12	4,8	2,1	3,6	3,6	1,9	1,7	5,2	1,1	3,8	1,7	2,7	1,8	2,4	1,6	0,1	3,2	1,8
v13	6,3	6,1	7,3	0,6	2,5	3,4	8,5	4,9	7,1	3,9	5,8	5,1	5,5	4,1	4,0	6,4	4,3
v14	4,0	2,7	4,2	4,1	3,2	1,1	3,9	1,8	2,8	0,7	1,6	0,5	1,0	0,6	1,4	2,1	0,8
v15	0,6	6,8	8,0	5,8	5,0	3,3	6,4	5,7	5,2	3,4	5,0	4,2	4,2	3,5	4,7	6,2	3,7
v16	2,5	4,4	5,7	3,5	2,6	1,0	5,6	3,3	3,8	1,0	2,7	1,9	2,3	1,1	2,4	4,4	1,1
v17	7,2	1,0	2,6	6,0	3,6	4,2	6,9	2,0	6,1	4,2	4,7	4,5	5,0	4,1	2,9	4,8	4,2
v18	4,8	4,9	4,5	7,0	6,1	4,2	1,0	3,4	0,5	3,3	1,4	2,4	2,2	3,2	4,0	1,0	3,2

Fonte: Autora (2016).

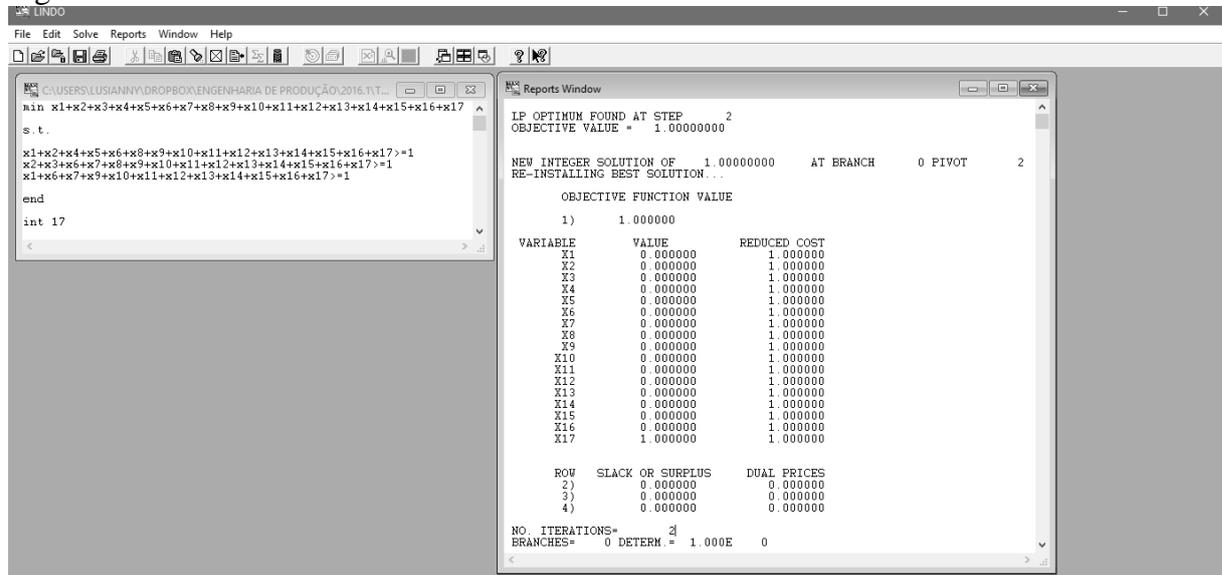
O SAMU informa que o tempo resposta ideal é menos que dez minutos. Assim, foi definido que o padrão de demanda  $r$  seria de quatro quilômetros que geralmente é realizado em

dez minutos na cidade, dependendo do trânsito. Dessa forma, os valores das matrizes que são menores que quatro foram utilizados nas restrições da resolução abaixo como mostra a próxima etapa.

### 6.1.3 Resolução do Problema

A primeira aplicação do problema no *software* Lindo™ foi para os três centros de demanda. A solução da programação linear encontra-se na Figura 16.

Figura 16 - Três Centros de Demanda



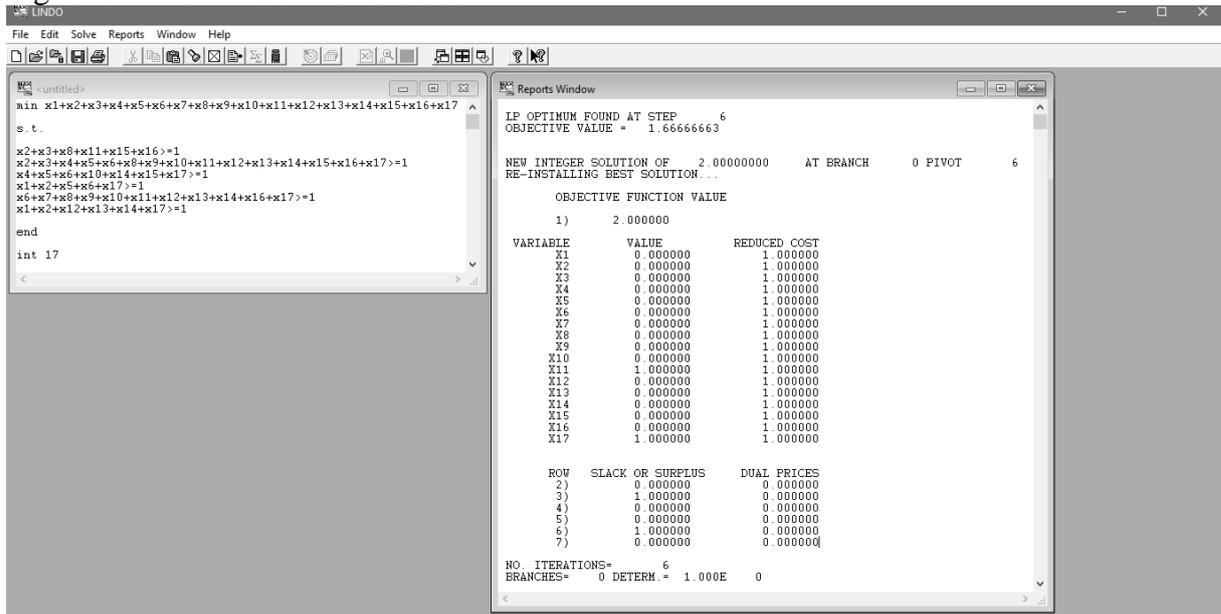
Fonte: Lindo (2016)

O resultado obtido ao rodar a programação linear para os três centros de demanda foi uma ambulância na posição:

- a)  $x_{17}$  que é a Santa Casa de Caridade, onde atualmente está localizado o SAMU.

A segunda aplicação do problema no *software* foi para os seis centros de demanda, Figura 17.

Figura 17 - Seis Centros de Demanda



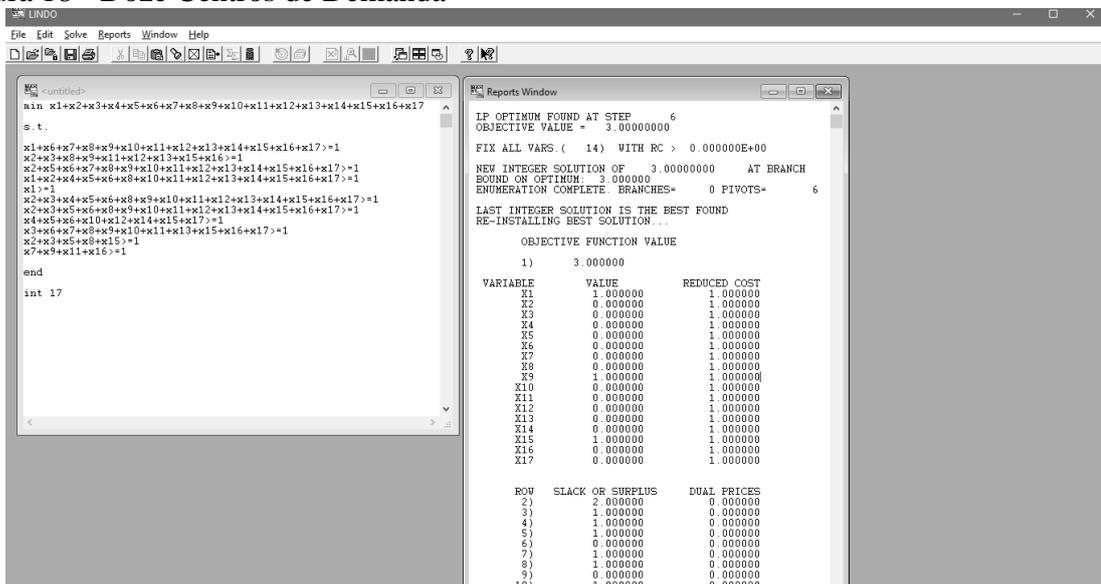
Fonte: Lindo (2016)

O resultado obtido ao rodar a programação linear para os seis centros de demanda foi duas ambulâncias nas seguintes posições:

- $x_{11}$ , onde está localizada a unidade de saúde Eduardo Sá Monmanny;
- $x_{17}$ , onde está localizado o hospital Santa Casa de Caridade, base atual do SAMU.

A terceira aplicação do problema no *software* foi para os doze centros de demanda, Figura 18.

Figura 18 - Doze Centros de Demanda



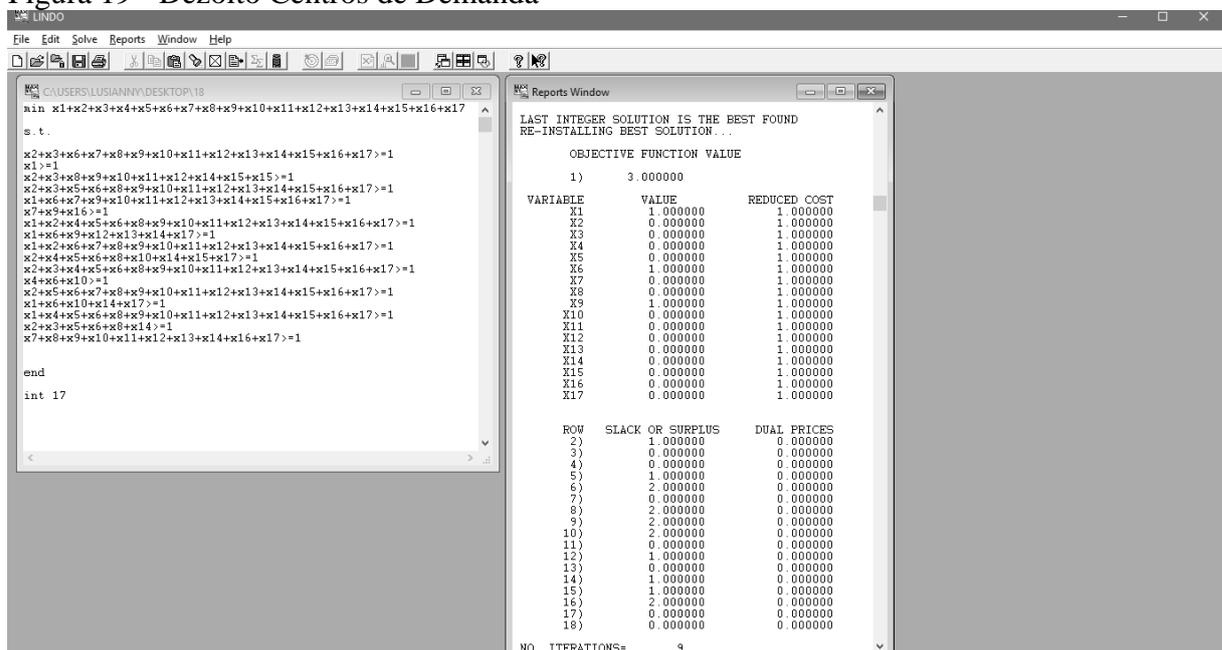
Fonte: Lindo (2016)

O resultado obtido ao rodar a programação linear para os seis centros de demanda foi três ambulâncias nas posições:

- $x_1$ , onde está localizado o ESF da Arvorezinha;
- $x_9$ , onde está localizado o ESF Barão do Itaqui;
- $x_{15}$ , onde está localizado o CAPS AD.

A quarta e última aplicação do problema no *software* foi para os dezoito centros de demanda, Figura 19.

Figura 19 - Dezoito Centros de Demanda



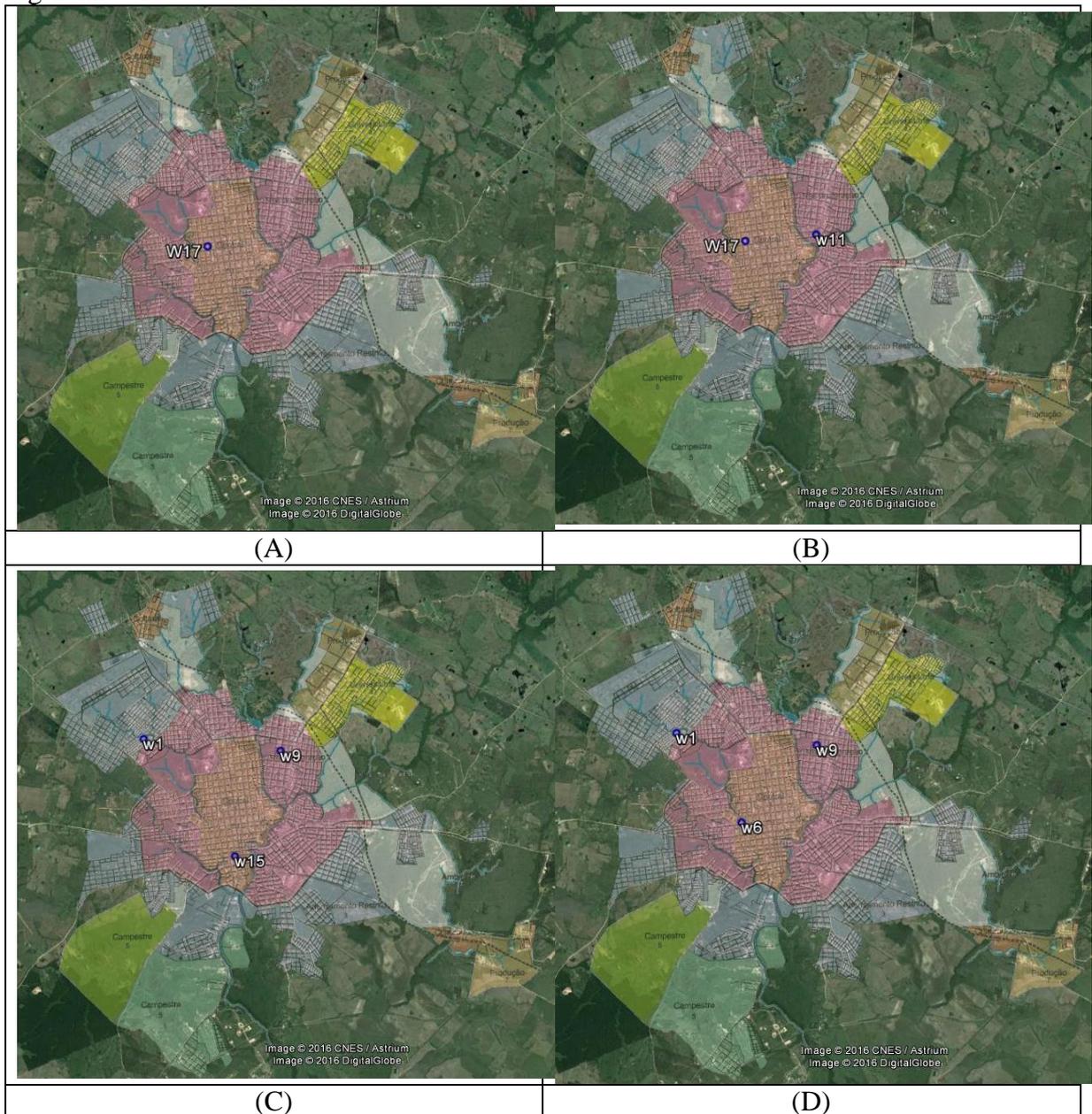
Fonte: Lindo (2016)

Nesta última aplicação do problema o resultado obtido foi também três ambulâncias nas posições:

- $x_1$ , onde está localizado o ESF da Arvorezinha;
- $x_6$ , onde está localizado o ESF Santa Cecília;
- $x_9$ , onde está localizado o ESF Barão do Itaqui.

A seguir, na Figura 20 encontra-se a localização exata das bases conforme os resultados encontrados durante a execução da programação linear para as diferentes demandas.

Figura 20 - Bases das Ambulâncias



Fonte: Adaptado de Google Earth (2016)

Nos resultados obtidos representados nos mapas da Figura 20 é possível verificar que nas duas primeiras vezes que foi rodado o modelo obteve-se como resposta onde já se encontra o SAMU atualmente. Quando o programa foi simulado com doze e dezoito centros de demanda a solução encontrada foi de três bases, o que significa que essa diferença não repercutiu no aumento do número de bases. Concluindo que três é o número de ambulâncias suficiente para a cidade de Bagé. Lembrando que a cidade possui quatro ambulâncias, o que implica que o número está acima do necessário encontrado, mas se tratando de serviços de emergência esse fato não é ruim.

## 7 CONCLUSÕES

O bairro centro no ano de 2013 foi o que apresentou maior número de chamados, seguido pelo bairros Getúlio Vargas, Castro Alves, entre outros.

Os atendimentos do tipo clínico foram os que mais aconteceram no período de análises, seguido das ocorrências traumáticas, psiquiátricas e por último as obstétricas.

Em relação ao período de atendimento o maior índice a tarde e o menor na madrugada.

Quanto aos dias da semana que mais ocorrem atendimentos pode-se informar que foram domingo e quarta-feira. Os dias que menos ocorrem foram sexta, terça-feira, segunda-feira.

As ambulâncias mais utilizadas pelo SAMU de Bagé no ano de 2013 foram as básicas.

O sexo que mais utilizou o atendimento de emergência no período identificado acima foi feminino.

Através do zoneamento urbano desenvolvido no Google Earth pode-se observar que a maioria das ocorrências no ano de 2013 se encontraram na macrozona central.

O modelo aplicado para todos os diferentes centros de demanda resultou em um número pequeno de ambulâncias, sendo que o máximo foram três ambulâncias. Então três ambulâncias já seriam suficientes para o tamanho da cidade.

Através do uso do modelo LMSC identificou-se que número de ambulâncias existentes foi suficientes naquele período para atender as demandas locais. Sendo que atualmente existem quatro ambulâncias no SAMU de Bagé.

Quanto a localização das ambulâncias, é mais interessante que a base não seja concentrada somente em um ponto da cidade. No primeiro modelo analisado, a localização ótima foi  $x17$ , que como já foi citado anteriormente é onde está centrado o SAMU e suas ambulâncias atualmente. No segundo modelo resultou em duas bases, localizadas no  $x11$ , unidade de saúde Eduardo Sá Monmanny, e novamente a  $x17$ . O terceiro modelo resultou em três bases:  $x1$ , onde está localizado o ESF da Arvorezinha;  $x9$ , onde está localizado o ESF Barão do Itaqui e  $x15$ , onde está localizado o CAPS AD. Por fim, o último modelo resultou também em três bases localizadas no  $x1$ , onde está localizado o ESF da Arvorezinha;  $x6$ , onde está localizado o ESF Santa Cecília e  $x9$ , onde está localizado o ESF Barão do Itaqui. Foi verificado que as localizações das ambulâncias sempre resultaram na macrozona central ou então na macrozona de adensamento restrito.

Com esses resultados, foi possível concluir que a base atual do SAMU está em uma localização ideal, visto que apareceu em dois dos modelos analisados. No entanto, deve-se destacar que o interessante é dispor das ambulâncias de forma não concentradas em apenas uma

base e o número de ambulância ótimo para a cidade são três, analisando os resultados seria necessário dividir essas ambulâncias por mais dois pontos da cidade. A melhor localização para esses pontos seriam:  $x_1$ , onde está localizado o ESF da Arvorezinha e a  $x_9$ , onde está localizado o ESF Barão do Itaqui, que foram os pontos que se repetiram nos resultados.

## **8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Atualizar as informações e refazer os cenários para dados atuais.
- Aplicar esta mesma técnica para cidades de porte maior.
- Aplicar esta mesma técnica para cidades de porte menor da região.
- Diminuir o tempo de resposta que hoje é dez minutos para um tempo menor e comparar os resultados obtidos.
- Utilizar outros modelos como, por exemplo, o modelo TEAM e o do Hipercubo.
- Verificar o sistema viário de chegada no atendimento e de remoção até a unidade de pronto socorro.
- Propor rotas rápidas.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. A. C. G. de. **Heurística baseada em colônia artificial de abelhas para o problema de localização de bases, alocação e realocação de ambulâncias**. 2012. Universidade de São Paulo, 2012.
- ANDRADE, L. A.; BARBIERI, C. **Modelo de apoio à decisão para um problema de posicionamento de bases, alocação e realocação de ambulâncias em centros urbanos: estudo de caso no município de São Paulo**. TRANSPORTES, v. 2, p. 34–50, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NB 1350 – Normas para elaboração de plano diretor. Rio de Janeiro, 1991.
- AUBIN, J. **Scheduling ambulances**. Interfaces, v. 22, n. 2, p. 1 – 10, 1992.
- BRASIL, **Lei Complementar Nº 025**, de 08 de agosto de 2007: Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental do Município de Bagé, 2007.
- BROTCORNE, L.; LAPORTE, G.; SEMET, F. **Ambulance location and relocation models**. European Journal of Operational Research, v. 147, n. 3, p. 451–463, 2003.
- CARVALHO, P. F. de; BRAGA, R. **Política urbana e gestão ambiental: considerações sobre o plano diretor e o zoneamento urbano**. Perspectivas de Gestão Ambiental em Cidades Médias, p. 95–109, 2001.
- CASTRO, M. A. T. A. Agrupamento - “clustering”. 2011. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2011.
- CHIYOSHI, F.; GALVÃO, R. D. **Modelo Hipercubo: Análise e resultados para o caso de servidores não-homogêneos**. Pesquisa Operacional, v. 21, p. 199–218, 2001.
- CHIYOSHI, F.; GALVÃO, R. D.; MORABITO, R. **O uso do modelo hipercubo na solução de problemas de localização probabilísticos**. Gestão & Produção, v. 7, n. 2, p. 146–174, 2000.
- CHURCH, R. L. E REVELLE, C. **The maximal covering location problem**. Papers of the Regional Science Association 32,101-118, 1974.
- CURRET, J.; DASKIN, M.; SCHILLING, D. **Discrete network location models**. Anais Facility Location Theory: Applications and Methods, Springer-Verlag, Berlin, p. 81-118, 2002.
- DASKIN M. **Network and discrete location: models, algorithms, and application**. John Wiley&Sons, INC, 1995.

DASKIN, M. S., **A Maximum Expected Location Model: Formulations, Properties and Heuristic Solution**. *Transport Science* 7, 48-70, 1983.

FERRARI, T.; NASSI, C. D. **Análise comparativa dos métodos de alocação para localização de de postos de despacho de ambulâncias de resgate**. In: XIII Rio de Transportes, Anais...2015.

FIGUEIREDO, A. P. S.; LORENA, L. A. N. **Localização de Ambulâncias: Uma aplicação para a cidade de São José dos Campos - SP**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 1965–1972, 2005.

FITZSIMMONS, J. a.; SRIKAR, B. N. **Emergency ambulance location using the contiguous zone search routine**. *Journal of Operations Management*, v. 2, n. 4, p. 225–237, 1982.

HALPERN, J.: **"Accuracy of estimates for the performance criteria in certain emergency service queueing systems"**, *Transportation Science*, v.11, n.3. p.223-242, 1977.

IANNONI, A. P.; MORABITO, R. **Modelo de fila hipercubo com múltiplo despacho e backup parcial para análise de sistemas de atendimento médico emergenciais em rodovias**. *Pesquisa Operacional*, v. 26, n. 3, p. 493–519, 2006a.

IANNONI, A. P.; MORABITO, R. **Modelo hipercubo integrado a um algoritmo genético para análise de sistemas médicos emergenciais em rodovias**. *Gestão & Produção*, v. 13, n. 1, p. 93–104, 2006b.

IBGE - <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=430160>> Acesso em 15 de maio de 2016

JARDIM, R. X.; CONCEIÇÃO, S. V. **Localização de unidades de resgate em Belo Horizonte**. XXXVI - SBPO, p. 1771–1780, 2004.

LARSON, R. C. **A hypercube queting model for facility location and redistrictin in urban emergency services**. The New York City Rand Institute, 1973.

LARSON, R.C., ODONI A.R. **Urban operations research**. New Jersey : Pratience Hall, 1981.

LORENA, L. A. N. **Análise Espacial de Redes com Aplicações em Sistemas de Informações Geográficas**. *Revista Produção (online)*, p. 23, 2003.

MALEKI, M.; MAJLESINASAB, N.; SEPEHRI, M. M. **Two new models for redeployment of ambulances**. *Computers and Industrial Engineering*, v. 78, p. 271–284, 2014.

MÁXIMO, R. de S.; MORABITO, R.; CHIYOSHI, F. Y.; IANNONI, A. P. **Extensão do modelo hipercubo para análise de sistemas de atendimento médico emergencial com prioridade na fila.** Production, v. 24, n. 1, p. 1–12, 2014.

MEDINA, A. C. **Modelos para dimensionamento de frota e localização de embarcações para atendimento de acidentes marítimos.** 1996. 240p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, São Paulo, 1996.

MENDONÇA, F. C. **O modelo hipercubo - Uma ferramenta para auxiliar o gerenciamento de sistemas.** Revista Hipeci & Lema, v. 6, p. 12–20, 2002.

MENDONÇA, F. C.; MORABITO, R. **Aplicação do modelo hipercubo para análise de um sistema médico-emergencial em rodovia.** Gestão & Produção, v. 7, n. 1, 2000.

NOGUEIRA JUNIOR, L. C. **Um estudo para redução do tempo de resposta do SAMU de belo horizonte através da realocação das bases de operação.** 2011. Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

PAVANELLI, A. M.; COSTA, D. M. B.; SIQUEIRA, P. H.; PAVANELLI, G. **Análise do serviço de atendimento emegencial móvel através das medidas de desempenho fornecidas pelo modelo hipercubo de filas utilizando cenários alternativos na determinação de divisões geográficas de atendimento.** Saudi Med J, v. 33, p. 3–8, 2012.

RAJAGOPALAN, H. K.; SAYDAM, C.; XIAO, J. **A multiperiod set covering location model for dynamic redeployment of ambulances.** Computers and Operations Research, v. 35, n. 3, p. 814–826, 2008.

REVELLE, C., HOGAN, K. **The maximum availability location problem.** Transportation Science, 23(3):192-200, 1989.

SCHMID, V. **Solving the dynamic ambulance relocation and dispatching problem using approximate dynamic programming.** European Journal of Operational Research, v. 219, n. 3, p. 611–621, 2012.

Secretaria Estadual de Saúde -  
<[http://www.saude.rs.gov.br/conteudo/394/?Como\\_funciona\\_a\\_regula%C3%A7%C3%A3o\\_do\\_SAMU%3F](http://www.saude.rs.gov.br/conteudo/394/?Como_funciona_a_regula%C3%A7%C3%A3o_do_SAMU%3F)> acesso em 01 de outubro de 2015.

Secretaria Municipal de Saúde -  
<[http://www.bage.rs.gov.br/secretarias\\_visualiza.php?id=32](http://www.bage.rs.gov.br/secretarias_visualiza.php?id=32)> acesso em 02 de outubro de 2015.

Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) - disponível em <<http://www.saude.rs.gov.br/lista/144/SAMU>> acesso em 21 de setembro de 2015.

SHILLING, D., ELZINGA, D.J., COHON J., CHURCH, R. E REVELLE, C. **The TEAM/FLEET models for Simultaneous facility and equipment siting.** Transportation science, 13(2):163-175, Maio, 1979.

SILVA, P. M. S. **Análise do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) de Belo Horizonte via simulação e otimização.** 2010. Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

SOUZA, R. M. **Análise da configuração de SAMU utilizando modelo hipercubo com prioridade na fila e múltiplas alternativas de localização de ambulâncias.** 2010. Universidade Federal de São Carlos, 2010.

SOUZA, R. M.; MORIBATO, R.; CHIYOSHI, F. Y.; IANNONI, A. P. **Análise da configuração de SAMU utilizando múltiplas alternativas de localização de ambulâncias.** Gestão & Produção, v. 20, n. 2, p. 287–302, 2013.

SUCUPIRA, I R. **Métodos heurísticos genéricos.** 2004.

TAKEDA, R. A. **Uma contribuição para avaliar o desempenho de sistemas de transporte emergencial de saúde.** 2000. Universidade de São Paulo, 2000.

TAKEDA, R. A.; WIDMER, J. A.; 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. 39–71, 2004.

TOREGAS, C.R.; SWAIN, R.; REVELLE, C.S. E; BERGMAN, L. **The location of emergency service facilities.** Operations Research 19, 1363–137, 1971.

TRUDEAU, P., J-M ROUSSEAU, J. A. FERLAN; J. CHOQUETTE. **An operations research approach for the planning and operation of an ambulance service.** Infor, v. 27, n. 1, p. 95 – 113, 1989.

WHITE, J. A., CASE, K. E. **On covering problems and the central facilities location problem.** Geographical Analysis, 281:281- 293, 1974.

XU, R., WUNSCH. D. C. **Clustering.** Wiley, 2009.