



ANÁLISE DE DESEMPENHO DO SAMU DE OURO PRETO E MARIANA ATRAVÉS DE MODELOS DE SIMULAÇÃO

PERFORMANCE ANALYSIS OF THE SAMU OF OURO PRETO AND MARIANA THROUGH SIMULATION MODELS

 **Dênisson Pierre Silva Motta**

Graduando em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP.
Ouro Preto, Minas Gerais – Brasil.
denisson.psmotta@hotmail.com

 **Ramon Sávio Moreira Lopes**

Mestrando em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP.
Ouro Preto, Minas Gerais – Brasil.
ramonsmlopes@gmail.com

 **Lásara Fabrícia Rodrigues**

Doutora em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG.
Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.
lasara@dep.ufmg.br

Resumo: O Serviço de Atendimento Móvel de Urgências dos municípios de Ouro Preto e Mariana opera em conjunto, de forma contínua, durante 24 horas por dia, sete dias por semana, utilizando quatro ambulâncias alocadas fixamente em três bases espalhadas na região. Dado o grau de incerteza do sistema aliado ao número de parâmetros capazes de interferir em sua eficiência, mostra-se interessante determinar e avaliar indicadores para realizar um diagnóstico da situação completa do sistema emergencial da região, em consonância com a análise da qualidade da prestação de serviço. Diante desta premissa, o presente trabalho propõe modelos de simulação orientados a eventos discretos que, após sua validação, foram utilizados para analisar (1) a localização de bases de ambulâncias em configurações centralizadas e descentralizadas, (2) o comportamento do sistema ao atender a demanda real estimada, (3) o desempenho do sistema após a retirada de uma ambulância utilizando duas políticas de despacho de ambulância e (4) a alteração na demanda do sistema ao longo do dia. Os resultados das análises foram capazes de apontar os pontos positivos e negativos de cada cenário, além dos eventuais gargalos do sistema.

Palavras-chaves: Serviços médicos de emergência. Ambulâncias. SAMU. Simulação. Planejamento em saúde.

Abstract: The Emergency Medical System of Ouro Preto and Mariana operates together, continuously, 24 hours a day, seven days a week, using four ambulances fixed located in three bases scattered throughout the region. Given the degree of uncertainty of the system coupled to the number of parameters capable of interfering in its efficiency, it is interesting to determine and evaluate indicators to make a diagnosis of the complete situation of the emergency system in the region in line with the service quality analysis. In this sense, this work proposes discrete event simulation models that, after validation, were able to analyze (1) the location of ambulance bases in centralized and decentralized configurations, (2) the behavior of the system in meeting the estimated real demand, (3) the performance of the system after the removal of an ambulance using two ambulance dispatch policies, and (4) the changes in system demand throughout the day. The results were able to point out the positive and negative technical features of each scenario, as well as any possible bottlenecks in the system.

Keywords: Emergency medical services. Ambulance. SAMU. Simulation. health planning.

Cite como

American Psychological Association (APA)

Motta, D. P. S., Lopes, R. S. M., Rodrigues, L. F. (2021, set./dez.). Análise de desempenho do SAMU de Ouro Preto e Mariana através de modelos de simulação. *Rev. gest. sist. saúde*, São Paulo, 10(3), 296-319.
<https://doi.org/10.5585/rgss.v10i3.18710>



1 Introdução

O Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) tem como objetivo atender a toda situação de urgência que necessite de meios médicos, de forma coordenada e organizada, promovendo o uso adequado de recursos (Takeda; Widmer; Morabito, 2001). O sistema deve ser capaz de determinar e promover a resposta mais adequada para cada tipo de emergência, preparar as condições necessárias para o atendimento das vítimas, determinar o tipo de transporte exigido e assegurar a disponibilidade dos meios hospitalares.

Proporcionar um nível adequado de serviço em termos de qualidade de atendimento tem sido um desafio sob o qual gestores de serviços médicos emergenciais se defrontam constantemente, afinal, a natureza estocástica de seus processos é imprevisível, de forma que a implantação de mecanismos de gestão capazes de otimizar seu desempenho são requisitos imprescindíveis para o atendimento à população.

Segundo Silva (2010), diversos autores apontam a existência de uma relação direta entre o tempo de espera dos pacientes pelo atendimento e a probabilidade de sobrevivência das vítimas ao afirmar que atrasos das ambulâncias diminuem, simultaneamente, a taxa de sobrevivência dos pacientes. Dada a conjuntura crítica deste intervalo de tempo, é evidente que a principal preocupação, em termos operacionais e logísticos, inerentes ao planejamento do sistema, é a redução deste tempo.

No entanto, uma proposta de maximização da qualidade de um sistema como o SAMU mediante a minimização de seu tempo de resposta e intervenção de significativas restrições como o tempo, disponibilidade de recursos e quantitativos orçamentários do setor público são tarefas de relativa complexidade. Em função disso, demandam cada vez mais por melhorias contínuas das práticas de tomadas de decisões relacionadas ao *trade-off* entre capacidade de investimento, disponibilidade de recursos e custos operacionais do sistema.

Problemas contextualizados sob essa premissa que visam a melhoria de análise e apoio à tomada de decisões têm sido amplamente abordados por pesquisadores e estão bem documentados na literatura médica com aplicação da pesquisa operacional. Pinto, Silva e Young (2015) elucidam diversas metodologias utilizadas pela área de pesquisa operacional nos últimos anos em sistemas médicos emergenciais, destacando-se a teoria das filas, modelo hipercubo, programação inteira mista, otimização estocástica, programação dinâmica e simulação. Pinto, Silva e Young (2015) e Bélanger et al. (2020) também enfatizam o uso de modelos de simulação, sob o pretexto de que apesar do alto custo de implementação, a metodologia é capaz de fornecer uma descrição detalhada do sistema além de permitir uma



minuciosa análise dos efeitos dinâmicos do sistema, transformando-a em uma ótima ferramenta de apoio à tomada de decisão.

Neste contexto, o presente trabalho busca avaliar o atendimento fornecido pelo SAMU nos municípios de Ouro Preto e Mariana através de técnicas de simulação orientadas a eventos discretos. Para isso, é utilizado um modelo computacional capaz de absorver a dinâmica espacial e temporal de variáveis como: localização das ambulâncias, política de despacho das ambulâncias e tempo de deslocamento das unidades mediante às complexidades geográficas da região. Dado o alto grau de incerteza do SAMU e o número de parâmetros capazes de interferir em sua eficiência aliado à complexidade geográfica da região, mostra-se interessante determinar e avaliar indicadores como forma de realizar um diagnóstico completo da atual situação do sistema.

De forma simultânea, propõe-se a formulação e análise de diferentes cenários no que diz respeito ao comportamento do sistema. Foram analisadas diferentes configurações, incluindo mudança na localização das bases das ambulâncias, análise de demanda real e alteração do quantitativo de ambulância com e sem alteração da política de despacho. Para isso, foram propostas abordagens por distribuição temporal e espacial dos dados como forma de aumentar o nível de detalhamento do modelo e aumentar a confiabilidade para mensurar a performance do sistema.

O presente trabalho procura elucidar uma abordagem para análise das operações do SAMU de Ouro Preto e Mariana. A Seção 2 descreve o funcionamento dos serviços de atendimento médicos emergenciais no Brasil enquanto a Seção 3 apresenta alguns estudos que utilizam modelos de simulação orientada a eventos discretos para analisar sistemas móveis de atendimento médico. A Seção 4 apresenta o estudo de caso, destacando a coleta de dados realizada no sistema abordado. A Seção 5 descreve o funcionamento da estrutura do modelo de simulação proposto enquanto a Seção 6 apresenta um comparativo dos cenários de funcionamento do sistema assim como os respectivos resultados. Em seguida, eventuais discussões sucedidas por uma breve conclusão são apresentadas na Seção 7.

2 Serviços de atendimento móvel emergencial

Sistemas de atendimento médico emergencial, comumente tratados como SME, são amplamente utilizados no mundo inteiro com o objetivo de proporcionar ao paciente, vítima de um incidente de categoria clínica, traumática, psiquiátrica ou obstétrica, o atendimento pré-



hospitalar adequado diante da sua necessidade, sendo este realizado por médicos, enfermeiros ou terapeutas especializados.

A Política Nacional de Atenção às Urgências, instituída pela Portaria Nº 1.863 (Brasil, 2003a) e composta pelos sistemas de atenção às urgências estaduais, regionais e municipais, visa garantir a universalidade, equidade e integralidade no atendimento às urgências clínicas e traumáticas no Brasil. Nesse contexto, através da Portaria Nº 1.864 (Brasil, 2003b) foi instituído o componente pré-hospitalar móvel por intermédio da implantação de Serviços de Atendimento Móvel de Urgência – SAMU 192, em todo o território brasileiro sob as condições orçamentárias e de trabalho do Sistema Único de Saúde (SUS).

Em 2011, a Portaria Nº 1.600 (Brasil, 2011) instituiu a Rede de Atenção às Urgências no SUS, e reformulou a Política Nacional de Atenção às Urgências, através de suas diretrizes, componentes e atribuições legais de operacionalização. Por fim, a Portaria Nº 1.010 (Brasil, 2012) redefiniu as diretrizes para a implantação do SAMU 192, unificando as definições do sistema, suas atribuições de operação e fornecendo um dimensionamento global referente à composição de equipes da Central de Regulação, das equipes de operação das unidades móveis, das qualificações das unidades e dos incentivos financeiros através de investimento e custeio do sistema.

Atualmente, define-se o SAMU como um serviço pré-hospitalar gratuito, com funcionamento durante 24 horas por dia, por meio da prestação de orientações e do envio de veículos tripulados por equipe capacitada e acionada por uma Central de Regulação das Urgências (Ministério da Saúde, 2017). As ambulâncias do SAMU são distribuídas estrategicamente, de modo a otimizar o tempo de resposta entre os chamados da população e o encaminhamento aos serviços hospitalares de referência. Segundo Aboueljinnane, Sahin e Jemai (2013), o tempo de resposta é um aspecto crítico especialmente em casos em que existe risco de morte do paciente. A prioridade é prestar o atendimento à vítima no menor tempo possível, inclusive com o envio de médicos conforme a gravidade do caso (Ministério da Saúde, 2017).

3 Simulação aplicada a serviços médicos emergenciais

Ao longo das últimas décadas, a utilização das técnicas de simulação na área da saúde como ferramenta para análise e melhoria de processos tem sido cada vez mais recorrentes e sua adequação tem sido demonstrada em diferentes aplicações envolvendo avaliação de projetos, dimensionamento de recursos, revisão de procedimentos e protocolos de atendimento a pacientes, avaliação da capacidade instalada e políticas operacionais (Silva, 2010). Bélanger et



al. (2020), por sua vez, afirmam que inúmeras pesquisas foram conduzidas em serviços médicos de emergência e destacam que a simulação apresenta as vantagens de flexibilidade na modelagem de sistemas dinâmicos, além da capacidade de lidar com quase todos os tipos de processos estocásticos sem restrição específica ou necessidade de simplificação.

Silva (2010) desenvolveu um modelo de simulação computacional do SAMU da região metropolitana de Belo Horizonte (MG), identificando alterações no padrão de demanda pelo serviço de atendimento.

Zhen et al. (2014) propuseram a realocação das ambulâncias na cidade de Xangai, China, a partir do desenvolvimento de um modelo de simulação orientado à eventos discretos em consonância com o emprego de um algoritmo metaheurístico para otimização. A metodologia foi capaz de captar a natureza dinâmica de atividades do processo de atendimento como condições adversas de tráfego e variações de demanda como forma de aumentar a eficiência de tomadas de decisões gerenciais.

Aboueljine et al. (2014) implementaram um modelo de simulação de eventos discretos, no software Arena, para avaliar o desempenho do SAMU, responsável pela cobertura do departamento de *Val-de-Marne* na região de Ilha da França, na França. Foi proposta uma realocação das equipes do sistema emergencial com intuito de aumentar a cobertura do serviço diante de um aumento mínimo nos custos operacionais.

Nogueira Júnior, Pinto e Silva (2014) avaliaram o serviço médico emergencial de Belo Horizonte, Brasil, a partir de um modelo matemático proposto. Com a técnica determinística, os autores verificaram que seria possível minimizar o tempo de resposta do sistema a partir de uma nova configuração da frota, com um número menor de bases ativas e com a realocação de ambulâncias. Diferentes cenários foram analisados, utilizando um modelo de simulação, nos quais os resultados apontaram redução do tempo de resposta de forma simultânea à redução dos custos totais do sistema, em virtude da diminuição do número total de bases.

Pinto, Silva e Young (2015) propuseram um modelo genérico de simulação para análise de sistemas emergenciais, o qual parametrizava o conjunto de entrada e saída de dados e estabelecia diretrizes para o processo de análise. O estudo foi validado através de dados reais do município de Belo Horizonte (MG) e estendido a um cenário alternativo testando a performance do município sob regras previstas e utilizadas em Londres, Reino Unido.

McCormack e Coates (2015) realizaram um estudo no SME de Londres utilizando a Otimização via Simulação, integrando ao modelo a metaheurística Algoritmo Genético. Os resultados do estudo demonstram que a otimização da localização da frota sem aumento de



recursos, aumentava a taxa de sobrevivência de pacientes com parada cardíaca. Os autores apontaram também que a remoção estratégica de uma base apresenta pouco impacto na probabilidade de sobrevivência.

Ünlüyurt e Tunçer (2016) avaliaram o SME de Istambul aplicando os dados reais do sistema aos modelos de localização de Máxima Cobertura (MCML) e Dupla Cobertura (BDCM). Com vistas de corrigir algumas deficiências encontradas, propuseram outros dois modelos de localização – o Modelo de Localização Máxima de Conjunto de Serviço Restrito a Serviços (MSRSCLM) e o Modelo de Proporção Final Centralizada (CFRM), avaliando os resultados dos modelos através da simulação, sob duas diferentes políticas de despacho. Aos modelos, também foram submetidos dados de instâncias geradas aleatoriamente. Os resultados demonstram que o MCML fornece melhores resultados quando comparado com os demais modelos e que bons resultados obtidos por meios determinísticos podem não apresentar bom desempenho quando simulados, demonstrando a importância de uma avaliação baseada em simulação.

Zaffar et al. (2016) fazem uso da otimização via simulação para propor um modelo de análise de desempenho de um SME sob diferentes métricas. Os autores utilizaram a metaheurística Busca Tabu Reativa (RTS) para otimizar e comparar três diferentes objetivos: (maximizar a cobertura, minimizar o tempo médio de resposta e maximizar a capacidade de sobrevivência) utilizando dados reais de chamadas de emergência. Os resultados demonstraram que o objetivo máximo de sobrevivência é estatisticamente melhor que os objetivos de mínimo tempo de resposta médio e de máxima cobertura. Diante dos testes realizados, os autores concluíram que os gestores de SME com frotas reduzidas (pequeno número de ambulâncias) devem adotar o objetivo de capacidade de sobrevivência em detrimento do menor tempo de resposta ao solucionar os problemas de configuração do sistema.

Yang et al. (2019) propõem um método de otimização baseado em simulação para alocação de ambulâncias. Nesse estudo, a simulação é usada para representar o funcionamento do sistema e avaliar o desempenho do plano de alocação de ambulância em um ambiente que considera incerteza. Um algoritmo de busca baseado em processo gaussiano foi usado juntamente com um modelo de simulação para identificar soluções ótimas. Os resultados de um estudo de caso conduzido na China mostraram redução significativa no tempo e frequência de atraso, e aproximadamente 41% de economia no custo de alocação ao utilizar o método proposto.



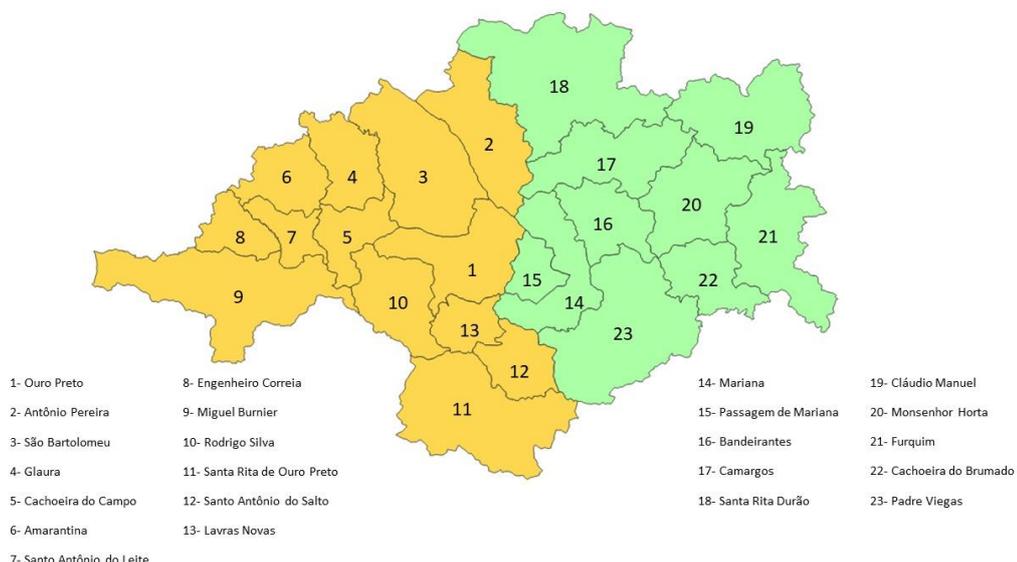
Bélangier et al. (2020) desenvolveram uma estrutura de otimização de simulação recursiva que engloba uma formulação matemática para problema de localização e despacho de ambulância e um modelo de simulação a eventos discretos que produz estimativas empíricas da disponibilidade de ambulância e do desempenho do sistema. Os testes realizados em um conjunto de instâncias realistas mostram o potencial da abordagem proposta como uma ferramenta eficaz para lidar com a tomada de decisões em SME.

Considerando as premissas abordadas anteriormente pela comunidade, este trabalho propõe o desenvolvimento de um modelo de simulação computacional capaz de lidar com as incertezas em sistemas emergenciais e fornecer aos gestores uma ferramenta capaz de avaliar o desempenho de suas decisões.

4 SAMU de Ouro Preto e Mariana

Ouro Preto e Mariana são duas das cidades mais antigas de Minas Gerais, tendo sua data de fundação no início do século XVIII e final do século XVII, respectivamente. Segundo o Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010), o município de Ouro Preto possui uma população total de 70.281 habitantes distribuída em onze distritos, compostos por 41,7% da população, além de sua sede que concentra o percentual majoritário da população, correspondente à 58,3%. Já o município de Mariana dispõe de uma população equivalente a 54.219 habitantes distribuída em nove distritos, que concentram 28,13% da população, e a região sede, composta por 71,87% da população. A Figura 1 representa a distribuição geográfica da região analisada.

Figura 1 - Distribuição geográfica da região analisada



Fonte: Elaborada pelos autores.



O conjunto de ambulâncias do SAMU de Ouro Preto e Mariana é responsável pela prestação de atendimento médico emergencial nos dois municípios, em situações de natureza clínica, cirúrgica, traumática, obstétrica, pediátrica e psiquiátrica. O município de Ouro Preto dispõe de três unidades de atendimento, sendo duas delas de suporte básico (USBs 1 e 2) e uma delas de suporte avançado (USA); enquanto Mariana dispõe de uma unidade de atendimento básico (USB 3). As equipes das USBs são compostas por um condutor e dois técnicos de enfermagem, enquanto a USA, comumente conhecida como UTI Móvel, conta com um condutor, um enfermeiro e um médico a bordo, além da disponibilidade de recursos e equipamentos direcionados ao atendimento de pacientes acometidos por situações mais graves.

O atual serviço opera 24 horas por dia, 7 dias por semana e conta com 3 bases espalhadas na região, sendo duas bases localizadas em Ouro Preto e uma em Mariana. A base da USA e USB 1 está localizada na Unidade de Pronto Atendimento (UPA) de Ouro Preto; a segunda base de Ouro Preto, no distrito de Cachoeira do Campo, onde situa-se a USB 2; e a terceira base encontra-se na Policlínica Municipal de Mariana, onde localiza-se a USB 3.

A regulação do SAMU de Ouro Preto e Mariana é realizada pela Central de Regulação do SAMU de Belo Horizonte por meio de contrato entre as partes desde 2015. A central de regulação é responsável pelo processo de triagem dos chamados, recolhimento das informações das vítimas e prestação de orientações iniciais básicas ao solicitante. O chamado é avaliado pela regulação de um médico que avalia a necessidade de uma ou mais ambulâncias assim como a classificação do chamado nas categorias básicas e avançadas. Em seguida, mediante a necessidade de envio de uma unidade, é emitida uma ordem de despacho e as ambulâncias são comunicadas por meio de chamado telefônico, iniciando-se assim as atividades operacionais do atendimento.

A alocação da USA é estritamente destinada a atendimentos classificados como avançados, de forma que, caso haja um chamado do tipo básico e todas as outras USBs estejam ocupadas o chamado é submetido à fila de espera. No entanto, as USBs podem fornecer atendimento para chamados do tipo avançado caso a USA não esteja disponível no momento.

O município de Mariana dispõe apenas de uma USB, incapaz de atender toda a demanda. Logo, as unidades do SAMU de Ouro Preto fornecem apoio em serviços básicos e avançados ao município de Mariana quando a USB 3 está ocupada ou em manutenção, no entanto, a USB 3 não fornece atendimento ao município de Ouro Preto de forma corriqueira.

O atual sistema de bases utilizado pelo SAMU foi implantado em setembro de 2017. No cenário anterior, a USB 2 localizava-se na UPA de Ouro Preto em conjunto com as USB 1 e



USA. A partir de setembro de 2017, a USB 2 foi transferida para a base situada no distrito de Cachoeira do Campo. A USB 3 permaneceu localizada na base da Policlínica Municipal de Mariana durante todo o período analisado. Essas diferentes localizações de bases de ambulâncias nos cenários, conforme abordado na Seção 6, também foram operadas com distintas políticas de prioridade de despacho.

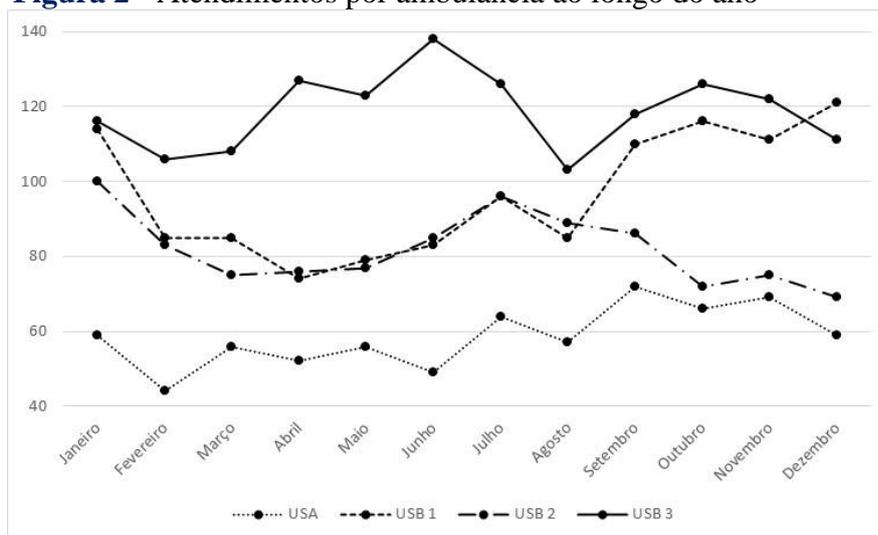
4.1 Coleta de dados

A coleta de dados dos atendimentos foi realizada nas Unidades de Pronto Atendimento de Ouro Preto e Mariana com autorização das Secretarias Municipais de Saúde de ambos os municípios. Os dados utilizados correspondem aos atendimentos realizados durante o ano de 2017. Esses dados foram coletados em entrevistas, observação direta e fichas de atendimentos.

As informações utilizadas nesse estudo incluem o horário de chegada do chamado, horário de chegada e saída do local do atendimento, horário de chegada à unidade de saúde, horário de liberação da unidade e região onde ocorreu o chamado. É importante salientar que os dados relativos à regulação médica não foram disponibilizados para este estudo, visto que este serviço é realizado em central de regulação independente.

A Figura 2 demonstra a distribuição de atendimentos realizados por cada ambulância ao longo do ano. É possível perceber a influência da alteração na localização da USB 2 e da política de despacho das USBs 1 e 2 nos atendimentos realizados por essas ambulâncias a partir de setembro de 2017.

Figura 2 - Atendimentos por ambulância ao longo do ano



Fonte: Elaborada pelos autores.

Durante as entrevistas e na coleta e análise dos dados, percebeu-se que em função da distância de alguns distritos até as bases e das condições de estradas e proximidade de outros municípios, muitos pacientes não são atendidos pelo SAMU. Nesses casos, ao observar a



gravidade dos casos, os pacientes são transportados por terceiros. Essa situação leva a pequena quantidade de chamados em alguns distritos comparada com a população dessas localidades.

Adicionalmente, foi analisada a distribuição temporal dos chamados. A partir do método estatístico de Tukey, pode-se afirmar sob um intervalo de 95% de confiança, que a taxa de chegada de chamados se mostra homogênea no âmbito anual, mensal e semanal. Entretanto, ao desagregar os dados inerentes ao processo de chegada dos chamados ao longo do dia, concluiu-se pela heterogeneidade da taxa de chegada de chamados ao sistema em diferentes períodos do dia.

Maiores detalhes sobre a análise dos dados do Serviço de Atendimento Médico de Urgência em Ouro Preto e Mariana utilizando técnicas de estatística descritiva podem ser encontrados em Lopes et al. (2021).

5 Modelo de simulação

O modelo computacional de simulação foi desenvolvido no software Arena da Rockwell Automation Technologies. O processo de simulação considera os seguintes parâmetros: localização das bases de ambulâncias e da origem dos chamados; política de despacho das ambulâncias (definida pelos gestores responsáveis); atendimento dos pacientes; deslocamento das ambulâncias, seja em direção ao local de atendimento, em direção ao hospital, de volta para a base e, até mesmo, o deslocamento entre átomos.

O modelo também engloba situações de atendimento adversas como chamados falsos, atendimento realizado por outras corporações antes da chegada da ambulância (Polícia Militar e Corpo de Bombeiros), casos em que o atendimento não é necessário e eventuais casos em que o paciente não é encaminhado ao hospital.

A Figura 3 representa o processo de atendimento do sistema. Os chamados são interpretados como entidades pelo ambiente de simulação, enquanto as ambulâncias são interpretadas como recursos. A simulação começa com a chegada do chamado. Esses chamados são gerados de forma desmembrada de acordo com sua localização e tipo de chamado. Cada chamado recebe um atributo característico com informação sobre a sua localização e o tipo de chamado.

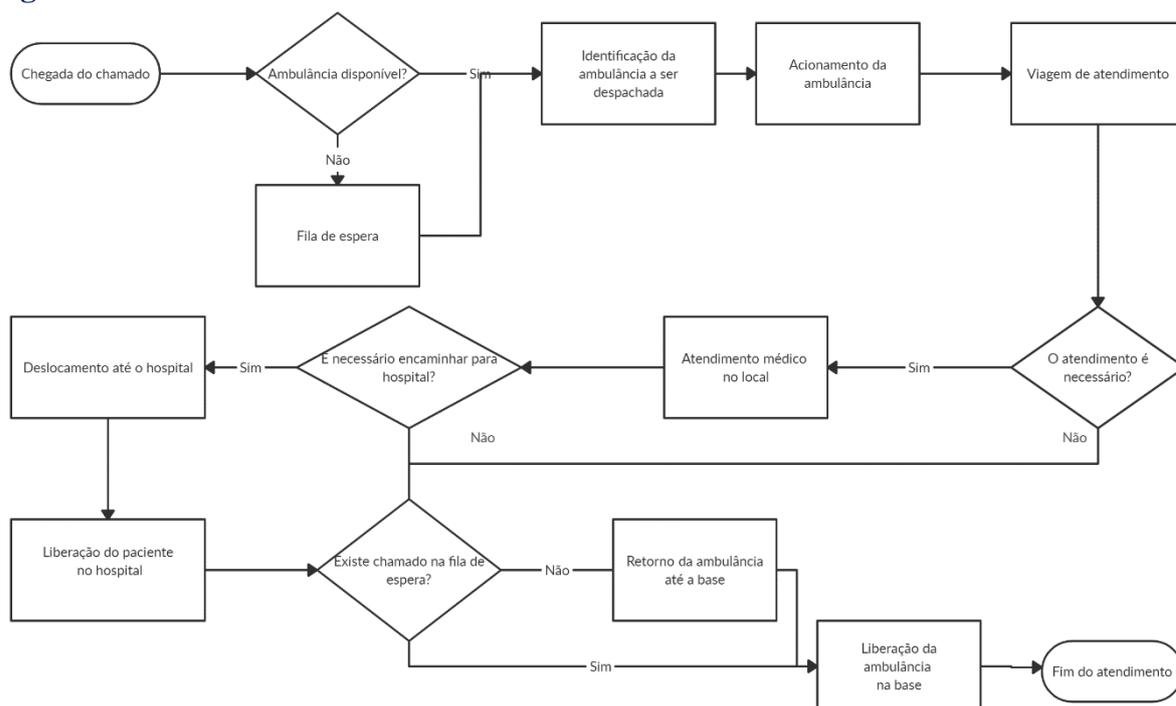
Em seguida, é iniciado o processo de análise para avaliar qual ambulância deve ser encaminhada para o atendimento de acordo com os critérios pré-estabelecidos pelos gestores responsáveis. Caso haja apenas um recurso disponível, inicia-se o processo de atendimento. Quando dois ou mais recursos estiverem disponíveis, é despachado aquele que proporcione ao



paciente o menor tempo de espera considerando a política de despacho, conforme a Tabela 2, caso contrário, o chamado aguarda na fila de espera.

Os processos de viagem das ambulâncias são constituídos e interpretados por parâmetros dinâmicos do modelo, de forma que o ambiente de simulação seja capaz de inferir o posicionamento inicial da ambulância e o objetivo final da viagem, proporcionando o tempo final de uma determinada viagem durante o atendimento.

Figura 3 - Processo de atendimento do SAMU



Fonte: Elaborada pelos autores.

O modelo também dispõe de uma série de funções de análise decisória acerca da necessidade de: (1) existência de ambulância disponível, (2) atendimento no local pela ambulância, (3) encaminhamento do paciente ao hospital, e (4) existência de chamados na fila de espera. Conforme mencionado anteriormente, as funções se fazem necessárias para verificar se existe ambulância disponível para realizar o atendimento; se o atendimento no local é necessário, devido a um percentual significativo de chamados em que o atendimento já não é necessário no momento de chegada da ambulância; em casos em que o atendimento no local é suficiente, eximindo a necessidade de encaminhamento da vítima ao hospital; e para permitir que a ambulância seja encaminhada diretamente para o atendimento de chamados em fila.



Nesse último caso, ao final do atendimento, destaca-se a possibilidade de redespacho da ambulância, em que diante de um eventual chamado na fila de espera, a ambulância é despachada automaticamente, dispensando-se a necessidade de a unidade retornar até a base. Nesse caso, o chamado é encerrado (Fim do atendimento) e uma chamada da fila de espera é liberada para ser atendida. Adotar essa política de redespacho de ambulâncias aproxima o modelo da realidade, entretanto, aumenta a sua complexidade. Por outro lado, caso não existam chamados em fila, a ambulância retorna à base e, em seguida, é liberada.

Devido à baixa ocorrência de chamados em alguns distritos, foi utilizado um agrupamento dos distritos em regiões ou átomos geográficos levando-se em conta: a localização dos distritos, complexidade geográfica e estradas de acesso a esses distritos, além da quantidade de chamados nos distritos. Vale mencionar que o distrito de Miguel Burnier não será incluído na análise, uma vez que os chamados desse distrito são atendimentos no município de Congonhas em função da sua proximidade geográfica. A Tabela 1 mostra o agrupamento realizado.

Tabela 1 - Agrupamento de distritos em átomos geográficos

Átomo	Cidade/distrito
1	Ouro Preto
2	Amarantina, Cachoeira do Campo, Glaura, Engenheiro Corrêa, São Bartolomeu e Santo Antônio do Leite
3	Lavras Novas, Rodrigo Silva, Santo Antônio do Salto e Santa Rita de Ouro Preto
4	Mariana e Passagem de Mariana
5	Antônio Pereira, Bandeirantes, Camargos e Santa Rita Durão
6	Cachoeira do Brumado, Cláudio Manuel, Furquim, Monsenhor Horta e Padre Viegas

Fonte: Elaborada pelos autores.

Devido a diferença no posicionamento das bases das unidades emergenciais, nos cenários com ambulâncias centralizadas e descentralizadas foram utilizadas diferentes políticas de despacho de ambulâncias, elucidadas pela Tabela 2. Essas políticas são baseadas no funcionamento do sistema em estudo.



Tabela 2 - Política de despacho nos cenários centralizado e descentralizado

Cenário centralizado									
Átomo	Chamados avançados				Chamados básicos				
	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°	
1	1	2 ou 3	2 ou 3	-	2 ou 3	2 ou 3	-	-	
2	1	2 ou 3	2 ou 3	-	2 ou 3	2 ou 3	-	-	
3	1	2 ou 3	2 ou 3	-	2 ou 3	2 ou 3	-	-	
4	1	4	2 ou 3	2 ou 3	4	2 ou 3	2 ou 3	-	
5	1	4	2 ou 3	2 ou 3	4	2 ou 3	2 ou 3	-	
6	1	4	2 ou 3	2 ou 3	4	2 ou 3	2 ou 3	-	

Cenário descentralizado									
Átomo	Chamados avançados				Chamados básicos				
	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°	
1	1	2	3	-	2	3	-	-	
2	1	3	2	-	3	2	-	-	
3	1	2	3	-	2	3	-	-	
4	1	4	3	2	4	3	2	-	
5	1	4	3	2	4	3	2	-	
6	1	4	3	2	4	3	2	-	

1: USA; 2: USB 1; 3: USB 2; 4: USB 3

Fonte: Elaborada pelos autores.

Como forma de avaliar o desempenho do sistema foram estabelecidos um conjunto de contadores, de forma que o relatório da simulação torne explícito os seguintes indicadores de desempenho do sistema, tais como tempo médio de resposta para cada átomo, tempo médio de resposta de cada ambulância e taxa de utilização de cada ambulância.

As distribuições estatísticas inerentes ao processo de chegada dos chamados em cada átomo e atendimento das ambulâncias foram estimadas individualmente e verificadas através de testes estatísticos mediante avaliação do p-valor. Para estimar o tempo médio de viagem das ambulâncias entre os átomos geográficos foi utilizada a ferramenta Google Maps para obter as distâncias entre os centroides desses átomos e uma velocidade média de 60 km/h.

A validação do modelo de simulação foi realizada comparando-se os indicadores de desempenho tempo médio de resposta do sistema, com desvio de -0,88% em relação aos dados reais, e o número de chamados anuais recebidos pelo sistema, com desvio de 2,11%.



6 Resultados

Após a validação do modelo de simulação do sistema SAMU de Ouro Preto e Mariana, foi analisada a configuração atual do sistema (cenário descentralizado), assim como os cenários alternativos, capazes de fornecer, mediante os indicadores previamente definidos, subsídios para avaliar as alterações logísticas propostas para o sistema.

Dessa forma, nas próximas subseções são apresentadas análises de alteração da configuração de bases das ambulâncias (Seção 6.1), de estimativa de demanda real (Seção 6.2), de desempenho do sistema após retirada de uma ambulância (Seção 6.3) e de alteração na demanda do sistema ao longo do dia (Seção 6.4).

6.1 Alteração da configuração de bases das ambulâncias

Os cenários considerando as ambulâncias centralizadas e descentralizadas foram analisados com o objetivo de comparar as duas configurações de localizações de bases do sistema assim como sua performance e influências na qualidade do atendimento prestado à população dos municípios. A configuração com servidores centralizados foi utilizada no sistema até setembro de 2017, e a partir dessa data passou-se a utilizar a configuração com servidores descentralizados.

A Tabela 3 especifica o tempo de resposta para os seis átomos geográficos em análise. Observa-se que a alteração de bases do sistema, através da alocação da USB 2 no distrito de Cachoeira do Campo resultou na redução de cerca de 24% no tempo de resposta do átomo 2, cuja composição corresponde à aproximadamente 18,75% da população do município de Ouro Preto (IBGE, 2010). No entanto, observa-se um pequeno aumento do tempo de resposta nos átomos 1, 4, 5 e 6 no cenário descentralizado em relação ao cenário centralizado, correspondentes as sedes dos municípios de Ouro Preto e Mariana, além dos distritos de Mariana em decorrência do afastamento da base da ambulância USB 2 desta região.



Tabela 3 - Tempo médio de resposta por átomo e por ambulância e taxa de ocupação de ambulâncias

		Descentralizado	Centralizado
Tempo de resposta por átomo (minutos)	Átomo 1	15,3	14,1
	Átomo 2	18,2	24,0
	Átomo 3	37,6	39,1
	Átomo 4	13,7	13,1
	Átomo 5	26,3	25,2
	Átomo 6	29,1	28,4
Tempo de resposta por ambulância (minutos)	USA	17,8	17,8
	USB 1	17,2	18,6
	USB 2	20,6	18,5
	USB 3	13,5	13,6
Taxa de ocupação da ambulância (%)	USA	14,2	13,9
	USB 1	18,0	14,2
	USB 2	11,0	14,5
	USB 3	14,8	14,8

Fonte: Elaborada pelos autores.

Em relação ao tempo de resposta das ambulâncias, no cenário de bases centralizadas é notável a semelhança entre os tempos das unidades USB 1 e USB 2, dado que possui como ponto inicial a mesma base, além de ser utilizada uma política de despacho aleatório entre esses dois servidores. A partir da mudança da USB 2 para o distrito de Cachoeira do Campo, nota-se um aumento significativo de seu tempo de resposta, dado que esta torna-se a unidade prioritária para o atendimento do átomo 2, sendo responsável inclusive, pela cobertura de uma ampla zona rural com estradas precárias e de difícil acesso; e uma redução no tempo de resposta da unidade USB 1, pertencente à base de Ouro Preto e que passou a realizar a maioria dos atendimentos na sede do município de Ouro Preto.

A taxa de ocupação das ambulâncias representa o percentual do tempo total em que os servidores estão ocupados no sistema. A análise de cenários representados pela Tabela 3 evidencia que a descentralização de bases do sistema não proporciona variação significativa na taxa de utilização da unidade USA e USB 3. No entanto, resulta em um aumento da taxa de utilização da USB 1 em detrimento da redução da frequência de despachos da USB 2. No cenário descentralizado, a USB 1 é preferencial na sede do município de Ouro Preto que concentra a maioria dos chamados; enquanto, a USB 2 é preferencial no átomo 2 que apresenta menor quantidade de chamados.



Apesar de ser um importante indicador de desempenho operacional dos servidores para os gestores do SAMU, a mudança de configuração de bases de ambulância não proporcionou alterações significativas na qualidade da prestação do serviço. Entretanto, essa análise mostra o tempo de resposta proporcionado pelas ambulâncias sob diferentes localizações, políticas de despacho e prioridade.

6.2 Estimativa de demanda real

Conforme mencionado anteriormente, identificou-se que muitos chamados realizados nos distritos de Ouro Preto e Mariana não são atendidos pelo SAMU. Isso acontece em função da grande distância entre esses distritos e as sedes dos municípios e mesmo da maior proximidade de alguns distritos com outros municípios. Nesses casos, a vítima é atendida por outras corporações como o Corpo de Bombeiros, Polícia Militar, ou até mesmo por civis que auxiliam na remoção das vítimas para instalação hospitalar mais próxima.

Para analisar a influência dessa situação nos resultados, foi realizada uma análise de correlação entre a população (IBGE, 2010) e o número de chamadas em cada localidade. Essa análise mostrou uma significativa correlação entre essas variáveis ($r=0,994$ e $p\text{-valor}=0,000$). Assim, estimou-se a demanda real utilizando a população e os chamados nesses distritos.

A Tabela 4 apresenta uma comparação entre os cenários de estimativa de demanda real e o cenário atual com servidores descentralizados. Observa-se na análise do cenário de estimativa de demanda pequena variação no tempo de resposta do sistema em relação aos átomos analisados, com exceção do átomo 6.



Tabela 4 – Comparativo entres os cenários descentralizados e de estimativa de demanda

		Descentralizado	Estimativa de demanda
Tempo de resposta por átomo (minutos)	Átomo 1	15,3	15,4
	Átomo 2	18,2	17,6
	Átomo 3	37,6	37,7
	Átomo 4	13,7	13,3
	Átomo 5	26,3	26,7
	Átomo 6	29,1	34,4
Tempo de resposta por ambulância (minutos)	USA	17,8	18,8
	USB 1	17,2	18,7
	USB 2	20,6	21,7
	USB 3	13,5	14,4
Taxa de ocupação da ambulância (%)	USA	14,2	26,1
	USB 1	18,0	21,9
	USB 2	11,0	11,8
	USB 3	14,8	17,4

Fonte: Elaborada pelos autores.

Em relação ao tempo de resposta de cada ambulância, foi observado aumento em todas as ambulâncias. Fato esse que se justifica pelo aumento de demanda de chamados em distritos mais distantes, induzindo o aumento das distâncias percorridas pela unidade e, conseqüentemente, o aumento da média de seu tempo de resposta. Por fim, observa-se um aumento relativo a 83,80% na taxa de ocupação da USA no cenário de demanda estimada em relação ao cenário real, um aumento de 21,66% e 17,56% em relação à taxa de ocupação das USBs 1 e 3, respectivamente.

Os resultados demonstram que apesar da significativa variação na taxa de ocupação das ambulâncias, a pequena variação no tempo de resposta em relação a maioria dos átomos sugere a capacidade do SAMU dos municípios de Ouro Preto e Mariana para atender sua demanda interna sem diminuir significativamente o nível do serviço oferecido.

6.3 Redução de ambulâncias

Para avaliar a eficiência da utilização das ambulâncias, destinar aos gestores métricas que viabilizam sua análise e diagnosticar sua real necessidade, propõe-se nesta subseção o desenvolvimento de um cenário alternativo cuja disposição avalia o comportamento do sistema



retirando-se uma ambulância de operação. Nesse sentido, optou-se pela retirada da USB 2 da base de Cachoeira do Campo, dado que está atende uma menor quantidade de chamados e, conseqüentemente, apresenta maior taxa de ociosidade em relação às demais unidades de suporte básico do sistema.

Foram avaliadas duas alternativas na política de despacho nesse cenário. Na primeira, não foi alterada a política de despacho no sistema. A USB 1 atende o município de Ouro Preto e é servidor backup em Mariana, enquanto a USB 3 atende apenas o município de Mariana. Na segunda, a USB 3 passa a realizar atendimento backup no município de Ouro Preto quando a USB 1 estiver ocupada. Essa política objetiva homogeneizar a utilização das USBs, evitado o aumento substancial de ocupação da USB 1.

A Tabela 5 apresenta o comparativo entre o cenário atual (descentralizado) e o cenário proveniente da redução de uma ambulância do sistema, sendo este avaliando-se também a alteração de política de despacho. Os resultados demonstram que não houve variação significativa no tempo de resposta dos átomos 4, 5 e 6 correspondentes ao município de Mariana, dado que são majoritariamente atendidos pela unidade USB 3 em ambos os cenários. No entanto, no cenário sem alteração de política de despacho, os átomos 1, 2 e 3 apresentam um aumento significativo deste indicador equivalente a 79,08%, 101,09% e 43,35%, respectivamente. Posteriormente, a inserção da USB 3 como unidade de backup do município de Ouro Preto, atua como fator responsável pela significativa redução do tempo de resposta dos átomos 1, 2 e 3. No entanto, mesmo com a alteração da política de despacho, observa-se aumento no tempo de resposta em alguns átomos, destacando-se o átomo 2, cujo aumento observado foi de aproximadamente 48,9% no tempo de resposta em relação ao cenário descentralizado.

Em relação ao tempo de resposta de cada ambulância, como esperado, esses cenários (sem e com alteração na política de despacho) não impactaram no tempo de resposta da USA. Por outro lado, proporcionaram aumento no tempo de resposta das USBs. No cenário sem alteração da política de despacho, a USB 1 vivencia um aumento de 93,02% no tempo de resposta ao se tornar única responsável pelo atendimento dos chamados básicos provenientes dos átomos 1, 2 e 3, além de prover atendimento backup aos distritos e sede do município de Mariana (átomos 4, 5 e 6). Posteriormente, com a alteração da política de despacho, uma importante redução no tempo de resposta da USB 1 foi observada; no entanto, esses resultados ainda se mostram elevados em relação ao cenário atualmente utilizado, com disposição de quatro ambulâncias. A variação nos tempos de resposta nos três cenários se mostra proporcional



à variação da taxa de ocupação das ambulâncias e reflete a redução de uma ambulância e a alteração na política de despacho. Entretanto, o cenário com alteração na política de despacho distribuiu a carga de trabalho mais uniformemente entre as USBs.

Tabela 5 - Comparativo entres os cenários descentralizados e com redução de ambulância

		Descentralizado	Redução de ambulância	
			P1	P2
Tempo de resposta por átomo (minutos)	Átomo 1	15,3	27,4	15,0
	Átomo 2	18,2	36,6	27,1
	Átomo 3	37,6	53,9	40,4
	Átomo 4	13,7	14,1	14,7
	Átomo 5	26,3	26,0	26,8
	Átomo 6	29,1	29,3	30,0
Tempo de resposta por ambulância (minutos)	USA	17,8	17,8	17,9
	USB 1	17,2	33,2	20,1
	USB 3	13,5	14,6	16,6
Taxa de ocupação da ambulância (%)	USA	14,2	14,2	14,4
	USB 1	18,0	27,7	23,6
	USB 3	14,8	14,7	19,3

P1: Sem alteração na política de despacho; P2: Com alteração na política de despacho

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os resultados são assertivos para avaliar a efetiva utilização das ambulâncias pelo sistema e seu impacto real sobre a qualidade da prestação de serviço de atendimento mediante o tempo de resposta, de forma que, após a retirada da ambulância com maior taxa de ociosidade, o sistema apresenta um considerável aumento no tempo de resposta, principalmente no município de Ouro Preto com impacto direto no átomo 2.

Observa-se ainda, que, durante os momentos em que houver necessidade de se retirar uma ambulância de operação, seja por manutenção dos recursos ou eventuais motivos que se fizerem necessários, orienta-se uma mudança temporária na política de despacho do sistema, disponibilizando a USB 3 para o atendimento backup ao município de Ouro Preto, como forma de homogeneizar a carga de trabalho dos servidores e reduzir o tempo de espera dos pacientes do município.



6.4 Abordagem por distribuição temporal

Os três cenários analisados anteriormente foram desenvolvidos com o objetivo de desagregar a região de análise, permitindo indicar ganhos e/ou perdas nas atividades das ambulâncias, para cada microrregião do sistema em análise, em decorrência da alteração da lógica operacional do sistema.

Como forma de analisar a variação de demanda ao longo do dia, propõe-se uma abordagem desagregando as chegadas ao longo dia e agrupando os dados inerentes à distribuição espacial do sistema. O objetivo nesse caso é desenvolver uma análise capaz de verificar a ocupação dos recursos ao longo do dia e avaliar sua influência sobre a qualidade de atendimento do sistema. O reagrupamento de dados se fez necessário para gerar dados consolidados de ambos os tipos de chamados para ambos os municípios em diferentes períodos do dia.

A Tabela 6 apresenta o comparativo entre o tempo de resposta e a taxa de ocupação das ambulâncias considerando os diferentes períodos de funcionamento do sistema. Os dados avaliados nessa subseção são relativos aos atendimentos de Ouro Preto e Mariana. Destaca-se nesses resultados a baixa taxa de ocupação das ambulâncias entre 00:00h às 08:00h, com valores inferiores à metade do restante do dia.

Tabela 6 - Comparativo do cenário descentralizado com o período do dia (minutos)

		0:00 – 24:00	0:00 – 8:00	8:00 – 24:00
Tempo de resposta do sistema (minutos)		19,7	17,9	19,8
	USA	12,3	4,5	12,6
Taxa de ocupação da ambulância (%)	USB 1	13,3	6,5	16,2
	USB 2	13,3	6,7	16,3
	USB 3	17,6	9,9	20,3

Fonte: Elaborada pelos autores.

Em função desses resultados, avaliou-se também a retirada de uma ambulância do sistema apenas durante o período em que as ambulâncias são menos utilizadas, de 00:00h às 08:00h. Novamente optou-se pela retirada da USB 2 do sistema e condução desta análise através de dois cenários avaliando a alteração de política de despacho atualmente utilizada para os atendimentos de natureza básica dos municípios. Os resultados são apresentados na Tabela 7



para o período de 00:00 às 8:00 horas, uma vez que os demais períodos permanecem inalterados.

Tabela 7 - Comparativo para o período de 00:00 – 8:00hs considerando a redução de ambulância

		Original	P1	P2
Tempo de resposta do sistema (minutos)		17,9	20,7	16,6
Taxa de ocupação da ambulância (%)	USA	4,5	4,5	4,5
	USB 1	6,5	14,3	12,4
	USB 2	6,7	-	-
	USB 3	9,9	9,0	10,6

P1: Sem alteração na política de despacho; P2: Com alteração na política de despacho

Fonte: Elaborada pelos autores.

A retirada da ambulância USB 2 sem alteração da política de despacho resulta em significativa perda de qualidade de atendimento do SAMU. Entretanto, em termos operacionais, a taxa de ocupação no período de serviço de 0:00 às 8:00hs utilizando 3 ambulâncias foi inferior a taxa do período de 8:00 às 00:00hs com 4 ambulâncias. Por fim, o segundo cenário (P2) em que se admite a alteração da política de despacho da ambulância USB 3 como unidade de apoio do município de Ouro Preto apresenta melhores resultados, indicando o tempo de resposta inferior para o sistema durante o período de tempo de 00:00h às 08:00h em detrimento do aumento da taxa de ocupação das unidades.

7 Conclusão e perspectivas futuras

No presente trabalho, foi proposto um modelo de simulação orientado a eventos discretos capaz de avaliar e mensurar indicadores de desempenho do Sistema de Atendimento Móvel de Urgência dos municípios de Ouro Preto e Mariana. O modelo foi implementado com o objetivo de avaliar variáveis como o tempo médio de resposta do sistema para cada átomo, tempo médio de resposta de cada ambulância e sua respectiva taxa de ocupação.

As metodologias de análise foram submetidas a dois cenários distintos de localização de bases já utilizado previamente pelos gestores do SAMU na região, propondo a centralização e descentralização do servidor USB 2. De forma análoga, mediante o fato de muitos chamados serem encaminhados a outras corporações ou atendidos por civis, através da remoção dos pacientes até a instalação de atendimento hospitalar mais próxima, analisou-se um cenário de



estimativa de demanda real, como forma de mensurar o comportamento do sistema mediante o eventual aumento de demanda.

Em consonância aos anteriores, foi proposto o desenvolvimento de um cenário alternativo supondo-se a retirada de operação da USB 2 do sistema como forma de avaliar seu comportamento através dos indicadores de tempo de resposta e taxa de ocupação das ambulâncias. A partir deste contexto foram propostos sub cenários, avaliando a influência de retirada total e parcial da ambulância durante o período de atendimento, assim como os resultados provenientes da alteração da política de despacho das unidades.

A literatura médica preconiza o tempo de resposta de um sistema móvel emergencial entre 8 e 10 minutos. No entanto, os resultados demonstrados no presente trabalho representam a discrepância entre o tempo de resposta teórico e aquele que é efetivamente realizado no atual sistema de bases descentralizadas, apresentado indicadores que variam de cerca de 1,3 a até 5,4 vezes maior do que o limite de tempo preconizado. Foram apresentados resultados equivalentes para o cenário de estimativa de demanda real, atestando a capacidade do SAMU em atender completamente sua demanda interna sem alterações significativas no nível de serviço.

Além da análise do sistema atual, avaliou-se a configuração centralizada de bases utilizada até setembro de 2017. Apesar desta configuração apresentar uma redução significativa no tempo de resposta dos átomos 1, 4, 5 e 6, apresentou um aumento significativo no tempo de resposta dos átomos 2 e 3. Apesar da significativa variação nos indicadores de análise dos dois cenários, ambos podem ser interpretados como insatisfatórios em termos de qualidade de atendimento à população.

Em relação ao número de ambulâncias em operação, foram propostos cenários de retirada da USB 2 de circulação para mensurar seu impacto sobre o tempo de resposta do sistema. Os resultados atestam que mesmo apresentando a maior ociosidade entre as unidades, a remoção da USB 2 impacta diretamente no nível de serviço de atendimento do SAMU apresentando aumentos significativos em seu tempo de resposta. Diante da possibilidade de se considerar a remoção parcial desta unidade, durante o período em que o sistema apresenta maior ociosidade, de 00:00h às 08:00h, os resultados se mostraram viáveis no cenário em que este processo seja efetuado em conjunto com alteração na política de despacho das ambulâncias, direcionando a USB 3 como unidade backup para o município de Ouro Preto.

A Portaria Nº 1.864 (Brasil, 2003b) do Ministério da Saúde determina o funcionamento ideal de sistemas de atendimento médico, de forma que as ambulâncias do SAMU devem ser adquiridas na proporção de uma Unidade de Suporte Básico para cada grupo de 100.000 a



150.000 habitantes, e de uma Unidade de Suporte Avançado para cada grupo de 400.000 a 450.000 habitantes. Apesar das especificações, os municípios de Ouro Preto e Mariana dispõe de quatro ambulâncias e uma população equivalente a 70.281 e 54.219 habitantes, respectivamente (IBGE, 2010).

Apesar do aparente superdimensionamento do sistema em relação ao número de ambulâncias, é válido ressaltar que os municípios são compostos por dois conjuntos de complexidades geográficas e gargalos logísticos: (1) ambas são cidades históricas com ruas estreitas e de difícil acesso, (2) ambos os municípios possuem uma ampla área territorial, formada por vários distritos, em que muitos devem ser acessados por vias não pavimentadas, de difícil acesso e à uma distância significativa. Fatos estes que justificam o elevado tempo de resposta em algumas regiões.

Como proposta futura, pretende-se analisar novos conjuntos de cenários para o sistema que incluem a avaliação de: (1) novas configurações de bases respeitando-se as restrições orçamentárias públicas; (2) configurações dinâmicas das bases das ambulâncias com diferentes alocações ao longo do dia para adequar-se à sazonalidade de demanda pela região avaliada; e (3) alocação de mais ambulâncias para o sistema de forma que atenda os tempos de resposta preconizados na literatura médica.

Referências

- Aboueljinnane, L., Sahin, E., & Jemai, Z. (2013). A review on simulation models applied to emergency medical service operations. *Computers & Industrial Engineering*, 66(4), 734-750.
- Aboueljinnane L., Sahin E., Jemai Z., & Marty, J. (2014). A simulation study to improve the performance of an emergency medical service: Application to the French Val-de-Marne department. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 47, 46-59.
- Bélangier, V., Lanzarone, E., Nicoletta, V., Ruiz, A., & Soriano, P. (2020). A recursive simulation-optimization framework for the ambulance location and dispatching problem. *European Journal of Operational Research*, 286, 713-725.
- Brasil. *Portaria Nº 1.863/GM de 29 de setembro de 2003*. (2003a). Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.
- Brasil. *Portaria Nº 1.864/GM de 29 de setembro de 2003*. (2003b). Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.
- Brasil. *Portaria Nº 1.600/GM de 07 de julho de 2011*. (2011). Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.



- Brasil. *Portaria Nº 1.010/GM de 21 de maio de 2012*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). *Censo 2010 - Sinopse por setores*. Recuperada em 30 de janeiro de 2019, de <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/?nivel=st>.
- Lopes, R.S.M., Morais, T.R.M, Castro, A.P.D., Motta, D.P.S., Pinheiro, R. C. S. M., Gualberto, C.R., Gomes, H.C., Gomes Júnior, A.C., & Rodrigues, L.F. (2021). Análise do Serviço de Atendimento Médico de Urgência nos municípios de Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais, Brasil. Submetida a *Revista Mundi Saúde e Biológicas*.
- McCormack, R., & Coates, G. (2015). A simulation model to enable the optimization of ambulance fleet allocation and base station location for increased patient survival. *European Journal of Operational Research*, 247(1), 294-309.
- Ministério da Saúde. *Serviços de Atendimento Móvel de Urgência - SAMU 192*. Recuperada em 11 de maio de 2020, de <https://www.gov.br/saude/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/samu>.
- Nogueira Junior, L. C., Pinto, L. R., & Silva, P. M. S. (2014). Reducing Emergency Medical Service response time via the reallocation of ambulance bases. *Health Care Management Science*, 19(1), 31-42.
- Pinto, L. R., Silva, P. M. S., & Young, T. P. (2015). A generic method to develop simulation models for ambulance systems. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 51, 170-183.
- Silva, P. M. S. (2010). *Análise do serviço de atendimento Móvel de urgência (SAMU) de Belo Horizonte via Simulação e Otimização*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.
- Takeda, R. A., Widmer, J. A., & Morabito, R. (2001). Uma proposta alternativa para avaliação do desempenho de sistemas de transporte emergencial de saúde brasileiros. *Transportes*, 9(2), 9-27.
- Ünlüyurt, T., & Tunçer, Y. (2016). Estimating the performance of emergency medical service location models via discrete event simulation. *Computers & Industrial Engineering*, 102, 467-475.
- Yang, W., Su, Q., Huang, S. H., Wang, Q., Zhu, Y., & Zhou, M. (2019). Simulation modeling and optimization for ambulance allocation considering spatiotemporal stochastic demand. *Journal of Management Science and Engineering*, 4, 252-265.
- Zaffar, M. A., Rajagopalan, H. K., Saydam, C., Mayorga, M., & Sharer, E. (2016). Coverage, survivability or response time: A comparative study of performance statistics used in ambulance location models via simulation–optimization. *Operations Research for Health Care*, 11, 1-12.
- Zhen, L., Wang, K., Hu, H., & Chang, D. (2014). A simulation optimization framework for ambulance deployment and relocation problems. *Computers & Industrial Engineering*, 72, 12-23.