

UTILIZAÇÃO DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO NO PROCESSO DE ATENDIMENTO DE CHAMADOS EM CENTRAIS DE OPERAÇÕES DA POLÍCIA MILITAR PARA OTIMIZAÇÃO DO USO DE VIATURAS

Amarildo J. F. de Lucena, Flavius L. Gorgônio

Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada a Negócios
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Rua Joaquim Gregório, S/N, Penedo, 59.300-000, Caicó, RN, Brasil
amarildolucena@gmail.com, flavius@dct.ufrn.br

Silvana Bocanegra

Departamento de Estatística e Informática - Universidade Federal Rural de Pernambuco
Rua Dom Manoel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, 52.171-900, Recife, PE, Brasil
silvana.bocanegra@gmail.com

RESUMO

A crescente sensação de insegurança que permeia o cotidiano da sociedade brasileira tem aumentado de forma exponencial nas últimas três décadas (1989-2018), sendo que parte desse sentimento deriva do aumento nos índices da criminalidade, corriqueiramente atribuído à falta de planejamento estratégico e à má administração dos recursos na área de segurança pública. Análises estatísticas e modelagem computacional são ferramentas importantes para a compreensão desse cenário, auxiliando no processo de tomada de decisões. Este trabalho apresenta um modelo computacional capaz de auxiliar na otimização da distribuição de viaturas em uma cidade de pequeno porte, permitindo medir o tempo de resposta no atendimento aos chamados recebidos em centrais de operações da Polícia Militar. O modelo foi utilizado com o objetivo de simular a variação da alocação de equipes e viaturas, tornando possível gerenciar o impacto dessa variação na área de cobertura e no tempo de atendimento às ocorrências recebidas. Os resultados demonstram o fator de correlação existente entre a variação no número de equipes, o tempo de resposta no atendimento e o esforço dos agentes que compõem essas equipes.

PALAVRAS CHAVE. Modelagem e simulação, Alocação de recursos, Segurança pública.

ABSTRACT

The growing sense of insecurity permeating Brazilian society's daily life has increased exponentially over the last three decades (1989-2018), and part of this impression stems from increased crime rates, often attributed to lack of strategic planning and bad resources administration in the area of public security. Statistical analysis and computational modeling are important tools for understanding this scenario, aiding in the decision-making process. This work presents a computational model capable of assisting in the optimization of the distribution of vehicles in a small city, allowing to measure the response time in attendance to incoming calls in operation centers of the Military Police. The model was used to simulate the variation of the allocation of teams and vehicles, making it possible to manage the impact of this variation on the coverage area and the time of attendance to reported incidents. The results demonstrate the correlation factor between the variation in the number of teams, the response time in the service and the effort of the agents that compose these teams.

KEYWORDS. Modeling and simulation, Resource allocation, Public security.

1. Introdução

O aumento crescente nos índices de criminalidade na sociedade brasileira vem tornando a segurança pública uma das principais preocupações e deve se tornar uma das prioridades de atuação dos governantes nos próximos anos. De acordo com Ferreira e Marcial [2015], o país hoje é campeão mundial em homicídios, com 1,5 milhão de assassinatos nos últimos 35 anos, índices similares aos que haviam na violenta Europa pré-Renascentista, entre os séculos XIII e XVI. Bretas e Rosenberg [2013] destacam a atuação da Polícia Militar (PM) como estratégica para uma mudança nesse cenário, apontando como uma das principais causas de insucesso a necessidade de um melhor uso das informações coletadas, a fim de possibilitar uma alocação mais adequada dos recursos disponíveis, o que poderia ser obtido a partir da análise dos dados contidos nas bases de dados das polícias.

Dentro dessa perspectiva, o uso de técnicas de Modelagem e Simulação (MS) é útil por propiciar, através de um modelo computacional, a representação de um sistema real, mesmo quando este não está disponível, permitindo a aplicação de medições estatísticas e a comparação de resultados alternativos através da simulação sobre o sistema representado [Jain, 1991].

Alguns trabalhos envolvendo MS vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de otimizar processos na área de segurança pública, mais precisamente na gestão de equipes, em atividades como a substituição de veículos de patrulha para gestão da manutenção dos veículos, a alocação-localização de veículos e a avaliação dos tempos de viagem e prioridade dos chamados, a fim de propor melhores políticas de patrulhamento policial [Gunal et al., 2008; Silva, 2010; Kolesar e Walker, 1975]. Além disso, o uso de MS em alguns trabalhos surge agregado à utilização de outras técnicas computacionais, como redes neurais [Lamas et al., 2013] e cadeias de Markov [Mckenzie et al., 2008; Birge e Pollock, 1989]. Nesses casos, especificamente, os objetivos estavam relacionados ao tempo de deslocamento e à carga de trabalho das equipes de patrulha.

O objetivo desse estudo é possibilitar, através do uso de MS, uma melhor gestão em relação ao número de equipes a serem escaladas para o patrulhamento das ruas. A partir da análise e conhecimento acerca dos impactos causados pela variação desse número, no que diz respeito aos índices do tempo de atendimento às ocorrências, torna-se possível i) uma melhor gestão do tempo de resposta aos chamados da população; ii) a otimização do gerenciamento da carga de trabalho das equipes de patrulha; e iii) a obtenção de informações que podem auxiliar na otimização do raio de cobertura das equipes, fornecendo-se assim uma maior sensação de segurança à população.

Para alimentar o modelo produzido, este estudo utilizou os dados dos registros de ocorrências de atendimentos de uma Central de Operações da Polícia Militar (COPOM) localizada em uma cidade de pequeno porte do estado do Rio Grande do Norte, com aproximadamente 70 mil habitantes. Apesar de restrito a uma única localidade, o estudo se justifica pelo fato de considerar-se que, no âmbito do patrulhamento policial, cada cidade – com sua população e área distintas – apresenta um cenário particular que pode ser reproduzido em outra localidade. O uso de MS possibilitou a análise das variações na quantidade de equipes (viaturas) alocadas no patrulhamento policial da cidade e o impacto dessas alterações na área de cobertura e no tempo de atendimento, sem que para isso fosse necessário comprometer o desempenho das operações reais.

2. Referencial Teórico

O uso de tecnologias de MS tem propiciado novas condições de planejamento para as organizações a partir da utilização de métodos que possibilitam otimizar sistemas de distribuição de recursos e/ou materiais. Na área de segurança pública, mais precisamente na localização de bases operacionais e alocação de viaturas, é possível a aplicação de várias metodologias relacionadas à minimização de custos, à melhoria da qualidade do serviço prestado, à otimização de *layout* de distribuição das viaturas e à alocação dos recursos, dentre outras.

Dentre as metodologias adequadas existentes no mercado, Pastore et al. [2010] cita que podem ser utilizadas ferramentas quantitativas fornecidas pela Pesquisa Operacional que são abordadas através dos modelos determinísticos de programação matemática, tais como: otimização

linear, otimização discreta, otimização em redes, programação dinâmica determinística e algoritmos evolutivos; ou através dos modelos probabilísticos que consideram as incertezas dos modelos, como programação dinâmica estocástica, teoria das filas e simulação.

2.1. O Processo de Modelagem e Simulação

Altiok e Melamed [2010] descrevem modelagem como uma representação simplificada de um sistema complexo, com o objetivo de aferir métricas de desempenho desejadas. O objeto dessa representação simplificada é um modelo que possibilita a simulação de alterações no cenário do sistema real. Sua principal vantagem é permitir a análise dos impactos ocasionados pelas alterações sem que o cenário real seja, de fato, afetado.

Simulação é o processo de concepção de um modelo desenvolvido para estudar o seu comportamento através de experimentos que são executados sob diferentes ambientes e condições operacionais [Obaidat e Boudriga, 2010]. Pastore et al. [2010] definem simulação computacional como uma ferramenta capaz de reproduzir os diversos cenários e estimar os respectivos resultados, auxiliando na gestão dos recursos e permitindo estimar os ganhos de novas alternativas, principalmente considerando a variabilidade da demanda e as incertezas do cenário real.

Em algumas áreas organizacionais, considera-se inviável um redesenho dos processos em tempo de execução, seja pelos riscos dos resultados que podem ser apresentados, seja por limitações de orçamento ou mesmo pelo impacto real na vida das pessoas envolvidas no processo. A identificação dessas características torna a simulação uma ferramenta importante a ser utilizada como instrumento de análise e controle dos processos. Com o uso de simulação, torna-se possível definir diversos cenários a serem testados, em diferentes períodos de tempo e com dados distintos de entrada, obtendo-se diferentes valores de saída. Assim, a cada nova execução, a obtenção de diferentes medidas de desempenho suscita a identificação de possíveis causas para esse novo comportamento, sem impacto real no processo.

Sendo assim, é possível definir MS como um processo de experimentação computacional, no qual utiliza-se um modelo do sistema real com o objetivo de testar diferentes alternativas operacionais com o propósito de encontrar e propor melhorias que visem à otimização do processo modelado, sem causar impactos no processo propriamente dito. As atividades do processo de MS podem ser resumidas conforme esquema mostrado na Figura 1, apresentada em Pastore et al. [2010]. O processo inicia-se a partir da construção do modelo, seguido pela transformação do modelo conceitual em modelo computacional e finalizando com a realização dos testes experimentais (simulação propriamente dita) para a busca da melhor (ou das melhores) alternativa(s).

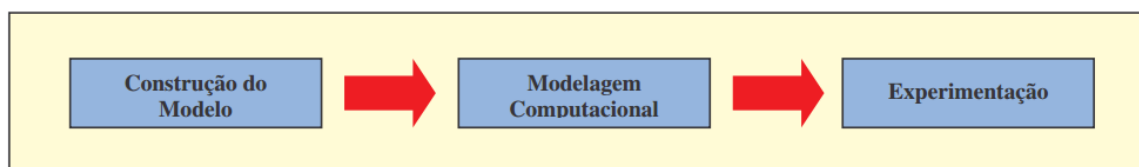


Figura 1: Atividades do processo de modelagem e simulação [Pastore et al., 2010].

Apesar do esquema proposto na Figura 1 atender de forma generalizada à proposta de modelagem e simulação, dentro das perspectivas do estudo de caso que será apresentado na próxima seção, sua representação é demasiadamente simplória para descrever detalhadamente cada uma das etapas. Assim, o processo descrito e representado no esquema da Figura 2 permite descrever de forma mais precisa e com um nível maior de detalhes as tarefas a serem desenvolvidas durante o processo de modelagem.

Segundo Obaidat e Boudriga [2010], para se realizar um estudo de simulação metódico e uma análise bem-sucedida, é necessário cumprir uma fase de planejamento, seguida da modelagem, verificação e validação, finalizando-se com a experimentação e aplicação dos resultados obtidos.

Para conclusão de cada fase, um conjunto específico de tarefas deve ser executado para obtenção de bons resultados.

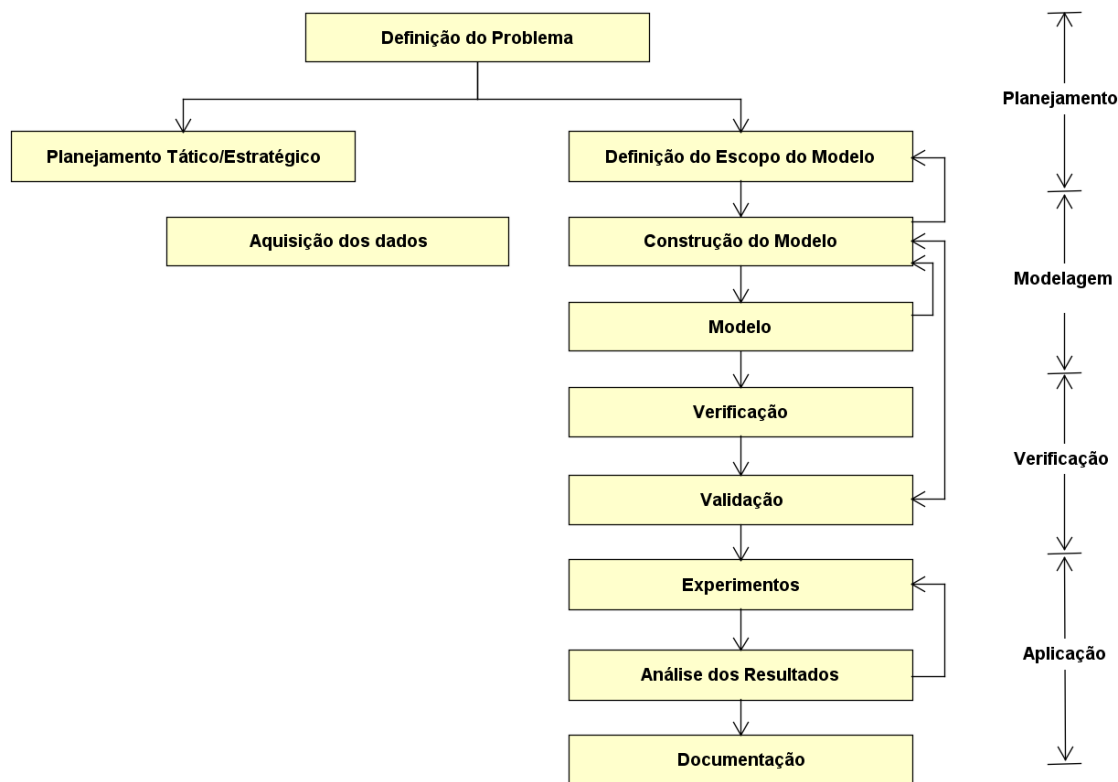


Figura 2: Atividades do processo de modelagem e simulação (Adaptado de Obaidat e Boudriga [2010]).

Na fase de planejamento, é importante delinear o problema a fim de compreender bem o objeto do estudo, além de avaliar os recursos necessários para uma boa coleta de dados e execução dos experimentos, sejam estes recursos financeiros ou equipamentos. Em resumo, deve-se considerar todos os recursos tidos como primordiais para atingir os objetivos do estudo. Para completar esta fase, é necessária a realização de duas etapas: i) uma boa revisão da literatura, a fim de identificar o nível de detalhe que será abordado e garantir a escolha da melhor técnica e/ou algoritmo; e ii) a interação com os especialistas de domínio e decisores, a fim de identificar fatores, variáveis, condições iniciais e as métricas de desempenho que serão utilizadas para obtenção do sucesso devido.

A construção do modelo do sistema é realizada na fase de modelagem e este deverá ser uma imitação do sistema real ou uma representação mais próximo possível de alguns aspectos do sistema a ser analisado. Essa fase consiste das seguintes etapas: i) diagramação de um modelo de simulação preliminar; ii) construção de um diagrama de fluxos; iii) avaliação do diagrama com uma equipe que atua com o processo; iv) lançamento dos dados coletados; e v) testes e validação. Essa fase persiste em seguidas iterações dessas etapas até que um grau de granularidade necessário seja alcançado, no sentido de chegar ao diagrama do sistema real ou o mais próximo possível deste.

Na etapa de verificação será observado com que precisão o modelo está representando o sistema real, enquanto que na validação é realizada a atribuição dos pressupostos parâmetros de entrada e as distribuições de tempo, verificando-se se os valores de saída estão produzindo resultados próximos dos obtidos no sistema real. Esses dois procedimentos se complementam, compondo a terceira fase do processo de modelagem e simulação.

Por fim, destaca-se a fase de aplicação e realização dos experimentos, na qual o modelo

poderá ser analisado sob diferentes ambientes e condições operacionais para revelar o comportamento do sistema em estudo. Baseado nos resultados dos testes da simulação, o analista poderá apreciar as alterações sugeridas para o sistema, sustentando suas proposições principalmente nos dados de custo e medidas de desempenho, sensibilidade de métricas de desempenho para variáveis específicas, bem como, na correlação entre as variáveis de controle.

2.2. Estado Transiente vs Estado Estacionário

Na etapa de validação do modelo, faz-se necessário identificar em que instante a simulação mais se aproxima da representação do sistema real, sendo que esta definição está diretamente relacionada aos conceitos de sistema terminal e sistema não terminal. Segundo Chwif e Medina [2006], a simulação terminal ocorre quando é possível identificar os instantes de tempo de início e fim do processo e existem condições iniciais fixas. Como exemplo, pode-se citar o expediente em um restaurante, em um banco ou em uma loja comercial, que possuem um horário predeterminado de atendimento. Em oposição a esses casos, na simulação não terminal não existe uma estimativa do tempo em que o processo deve durar, podendo permanecer indefinidamente, como nos serviços de 24 horas, em hospitais ou no atendimento de ocorrências policiais.

O caso de estudo proposto neste trabalho pode ser classificado como uma simulação não terminal, por isso é importante identificar o momento em que o modelo sai do estado transiente – período em que a simulação ainda está sob a influência das condições iniciais do sistema – e entra no estado estacionário, no qual o modelo recebe uma influência menor da fase transiente e passa a representar as condições reais de funcionamento do sistema [Silva, 2010].

3. Estudo de Caso

O estudo de caso abordado neste trabalho propõe a modelagem do processo executado na Central de Operações da Polícia Militar (COPOM) da cidade de Caicó/RN, que é responsável por registrar os dados dos chamados de ocorrências policiais nesse município. Com a modelagem desse processo, torna-se possível efetuar-se simulações e analisar suas consequências no cenário de distribuição de recursos policiais de patrulhamento (equipes e viaturas), avaliando possíveis impactos dessas alterações na área de cobertura e no tempo de atendimento aos chamados, sem comprometer o atendimento ou por em risco a população local em decorrência de uma má distribuição dos recursos.

O processo de recebimento de chamados da COPOM tem como principal objetivo o atendimento e registro dos dados de ocorrências policiais, a designação de equipes de patrulhamento policial para atender às solicitações da população e o acompanhamento dos procedimentos realizados. Na execução dessa tarefa, busca-se gerenciar o *trade-off* entre garantir a otimização no uso dos recursos e minimizar o tempo de chegada ao local da ocorrência, aumentando as chances de sucesso da operação. O objetivo apresentado – a gestão do atendimento aos chamados e os tempos correlatos – está relacionado ao planejamento do número adequado de equipes a serem alocadas para o patrulhamento policial, à capacidade de atendimento de cada equipe e à demanda existente diretamente ligada ao nível de *stress* no uso dos recursos.

Segundo Andrade e Cunha [2014], sistemas com tais características podem ser vistos como sistemas de filas, nos quais os chamados representam a demanda (ocorrências registradas) e os servidores (ou seja, os recursos) representam os veículos e suas equipes. A quantidade de equipes em um sistema de patrulhamento tem relação direta com o tempo de resposta de atendimento, impactando no desempenho do mesmo. Por outro lado, quanto maior o raio de cobertura mais tempo será exigido para que a equipe chegue ao local da ocorrência. Sendo assim, busca-se modelar o sistema a fim de facilitar a extração dos índices de utilização dos recursos através do uso de simulação, proporcionando o melhor nível possível de gestão do serviço, respeitando restrições mínimas de viabilidade e disponibilidade de recursos (equipes e viaturas), sendo a qualidade do nível de serviço definida pela relação entre a demanda a ser atendida e o tempo de deslocamento necessário para a chegada da equipe ao local do atendimento.

3.1. O Modelo

O modelo apresentado na Figura 3, e detalhado a seguir, foi validado junto à coordenação da COPOM e mostra cada etapa do processo modelado, seguido de informações acerca da coleta e análise dos dados contidos na base do órgão, de forma a justificar a importância dessa extração para a modelagem do processo trabalhado nesse estudo.

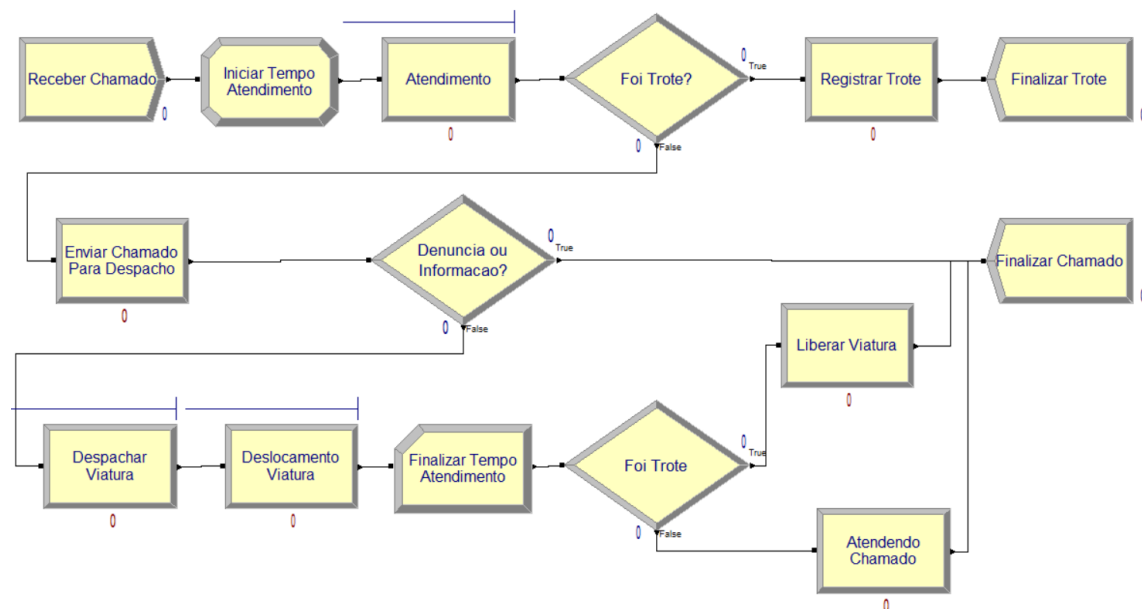


Figura 3: Modelo do processo de atendimento da Central de Operações da Polícia Militar

O processo se inicia quando a COPOM recebe um chamado (*Create*: Receber Chamado) e o atendente passa a registrar os dados coletados junto ao requisitante do serviço (*Process*: Atendimento). Caso o atendente identifique, durante o atendimento, que o chamado trata-se de um trote (*Decide*: Foi Trote?), o registro é identificado como trote para futuros levantamentos estatísticos (*Process*: Registrar Trote) e é imediatamente encerrado (*Process*: Finalizar Trote). Caso contrário, a ocorrência é registrada com os dados correspondentes ao chamado policial, a fim de facilitar o direcionamento, de forma adequada, de uma equipe para resolver o problema registrado.

A etapa seguinte trata justamente do envio dos dados registrados para um despachante, indivíduo responsável por alocar e encaminhar uma equipe até o local do chamado (*Process*: Enviar Chamado Para Despacho), possibilitando que o mesmo tome as providências adequadas para o atendimento ao solicitante. Em alguns casos de denúncia anônima (*Decide*: Denúncia ou Informação), o chamado é encerrado na COPOM e enviado a outro setor, sendo que essa etapa não foi inserida no modelo apresentado, uma vez que faz parte de outro processo (como por exemplo, o processo de investigação de uma denúncia de crime). Realizado esse primeiro momento de identificação da ocorrência, o despachante passa a registrar no Sistema de Informação, além dos dados relatados pelo denunciante e/ou coletados pelo atendente, todos os passos e encaminhamentos aplicados àquele registro dentro da COPOM.

Ao receber o registro da ocorrência através do sistema de informação, o despachante deverá identificar, dentre as equipes disponíveis, aquela que estiver melhor localizada para atender a reclamação do denunciante, encaminhando a mesma para o local da ocorrência (*Process*: Despachar Viatura). Após ser alocada uma viatura para atender ao chamado, o despachante passa a acompanhar o atendimento, registrando o tempo de deslocamento da viatura até o local da ocorrência (*Process*: Deslocamento Viatura). Durante a modelagem do processo de simulação, foram inseridos objetos para registrar o tempo decorrido entre a etapa de atendimento (*Assign*: Iniciar Tempo Atendimento)

e a chegada da viatura ao local da ocorrência (*Record*: Finalizar Tempo Atendimento), sendo que os dados resultantes dessa simulação são apresentados nos resultados da pesquisa.

3.2. Metodologia

Para a modelagem do processo apresentado, foi necessário realizar algumas consultas à base de dados da COPOM, a fim de obter a quantidade de registros/dia, o intervalo entre os registros de ocorrências e os tempos entre as etapas de tramitação e solução das ocorrências. Durante este levantamento, foram encontradas dois tipos de inconsistências na base de dados que foram considerados importantes para a transcrição do processo da COPOM para o modelo.

O primeiro tipo de inconsistência está relacionado à ausência do registro do exato momento em que o atendente recebe um chamado. Esse registro seria útil no cálculo do tempo gasto pelo atendente para coletar os dados de cada ocorrência junto ao requisitante do serviço, fornecendo dados para a primeira etapa do modelo proposto neste trabalho. Como um dos objetivos deste estudo é analisar o tempo de alocação das equipes no cenário do chamado, considerou-se que essa inconsistência não ocasionaria impactos nos resultados.

O segundo tipo faz referência a registros que não foram finalizados no momento correto. Estas ocorrências foram identificadas por terem esse dado (tempo de atendimento) sem preenchimento ou com valores considerados totalmente fora da realidade vivida pela equipe da COPOM, como por exemplo, tempos de atendimento de aproximadamente 24 horas. Esses casos foram excluídos da base, como forma de evitar uma influência não condizente com a realidade do processo.

Para determinação das distribuições de tempo a serem informados no modelo, foram extraídos os intervalos de tempo entre as etapas do processo, representadas pelos objetos *Process* na Figura 3. A Figura 4(a) mostra a distribuição extraída para o tempo entre o envio de um registro pelo atendente e o despacho de uma equipe para o atendimento (*Process*: Despachar Viatura); a Figura 4(b) apresenta a distribuição do tempo transcorrido entre o despacho (envio) de uma equipe para atender uma ocorrência e a chegada da mesma ao destino, ou seja, o tempo que uma equipe gasta para chegar até o local da ocorrência (*Process*: Deslocamento Viatura) e a Figura 4(c) apresenta a distribuição do tempo entre a chegada da equipe ao local da ocorrência e a finalização do chamado, ou seja, solução para a ocorrência (*Record*: Finalizar Tempo Atendimento).

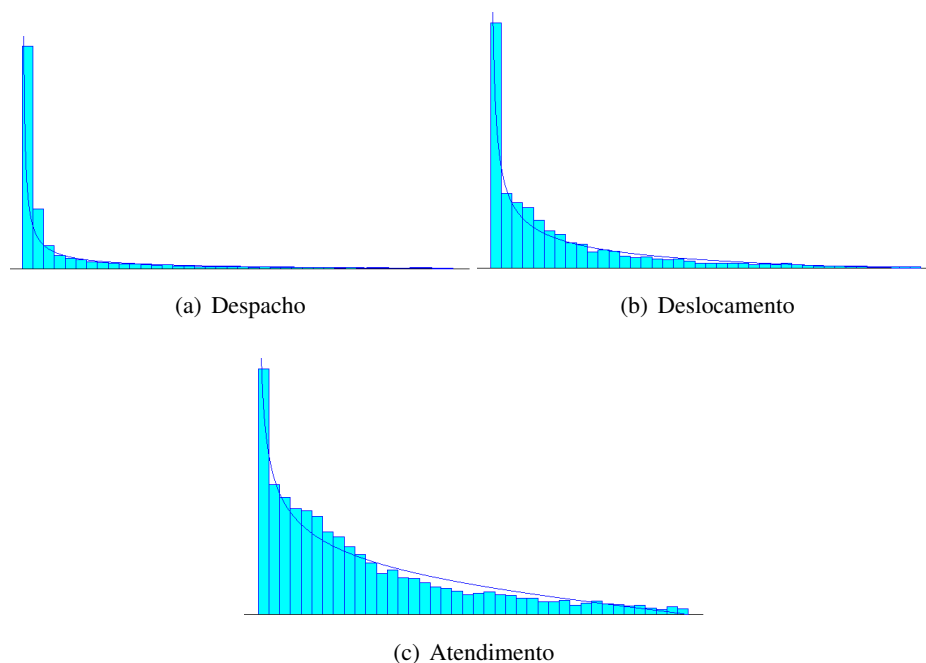


Figura 4: Conjunto de distribuição dos tempos

Para a execução dos experimentos, foi utilizada a ferramenta ARENA, um ambiente gráfico integrado de simulação que possui recursos para modelagem de processos [Automation, 2012]. Foi utilizado o módulo *Input Analyzer*, integrado ao Arena, para realizar os ajustes dos tempos coletados, com o objetivo de verificar se os dados da amostra seguiam uma determinada distribuição estatística. A partir da realização de testes de aderência entre os dados da amostra e as funções de distribuição disponíveis na ferramenta e considerando-se como variável de decisão o *square error*, foi possível decidir pela distribuição Beta por ser esta a que apresentou menor taxa de erro para as três variáveis consideradas, conforme valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Sumário de erros das distribuições

Distribuições	Tempo de Despacho (square error)	Tempo de Deslocamento (square error)	Tempo de Atendimento (square error)
Beta	0.0127	0.00102	0.000799
Weibull	0.0151	0.00190	0.001580
Lognormal	0.0331	0.00985	0.005210
Gamma	0.0599	0.00220	0.001070
Exponential	0.1230	0.02830	0.002780
Erlang	0.1230	0.02830	0.002780
Normal	0.2400	0.07880	0.022300
Triangular	0.2480	0.08050	0.016000
Uniform	0.2670	0.09980	0.031100

A Tabela 2 apresenta as expressões para as distribuições dos tempos geradas no *Input Analyzer*, com base nas amostras dos registros e na distribuição indicada pela ferramenta.

Tabela 2: Expressão das distribuições

Variáveis	Expressão
Tempo de Despacho	$-0,001 + 694 * \text{BETA}(0,183; 1,38)$
Tempo de Deslocamento	$-0,001 + 1,29\text{e}+004 * \text{BETA}(0,419; 2,08)$
Tempo de Atendimento	$8 + 1,05\text{e}+004 * \text{BETA}(0,646; 1,89)$

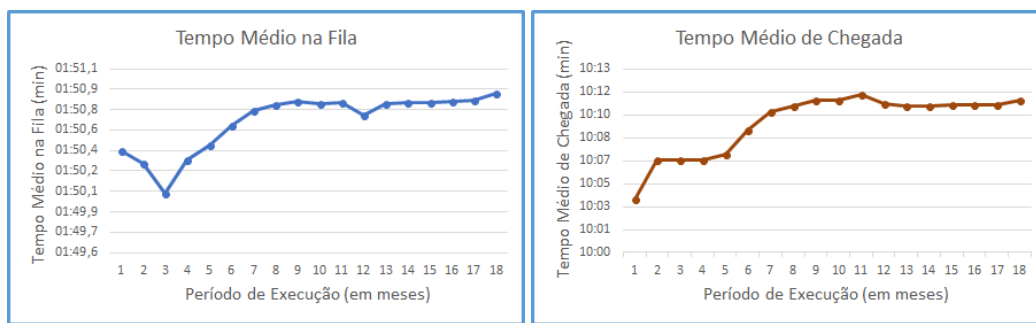
Para encontrar o momento em que o modelo entraria em estado estacionário, foram executadas simulações, variando o equivalente a trinta dias (720 horas) por dezoito meses. A ferramenta utilizada permite que seja determinando o número de repetições da simulação. Neste trabalho, foi estabelecido o total de 30 replicações, que tiveram seus resultados analisados para determinar o momento em que o modelo entra em estado estacionário. A determinação do período transiente foi feita por análise gráfica.

Os índices para o período considerado como tempo de aquecimento foram obtidos com a simulação do caso base e são apresentados na Tabela 3. Através da observação do comportamento do sistema, definiu-se como tempo de aquecimento (período durante o qual a simulação ainda recebe influência das condições iniciais do sistema) o período de 12 meses (equivalente a 8640 horas). Considerou-se que a partir deste instante, conforme pode ser visto na Figura 5, a curva dos tempos no gráfico não aparenta mais tendência clara de crescimento ou decrescimento, passando apenas a oscilar entre os valores limites máximos e mínimos do período pós aquecimento.

Tabela 3: Tempos de aquecimento da simulação

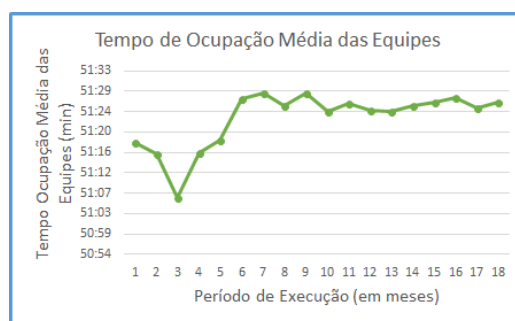
Tempo Médio na Fila	Tempo Médio de Chegada	Tempo de Ocupação Média das Equipes
1:51 min	10:09 min	51:23 min

Os últimos parâmetros necessários para aplicação das simulações foram obtidos aplicando uma proporcionalidade à área de cobertura de cada equipe, conforme apresentado na Figura 6. Foram projetadas circunferências, obedecendo o número de equipes disponíveis, com o objetivo de cobrir toda área habitada da cidade, a fim de definir os raios de cobertura de cada equipe. Os percentuais resultantes da diferença entre os raios de cobertura são acrescidos na distribuição do



(a) Tempo Médio na Fila

(b) Tempo Médio de Chegada



(c) Tempo de Ocupação Média das Equipes

Figura 5: Resultados dos tempos de simulação do modelo do sistema real

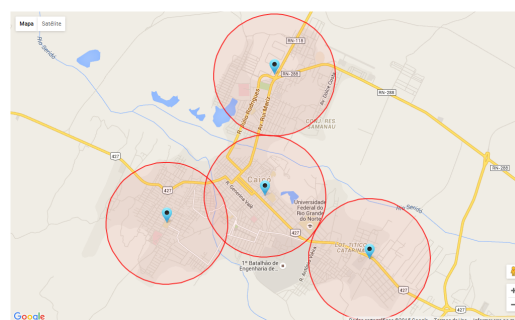
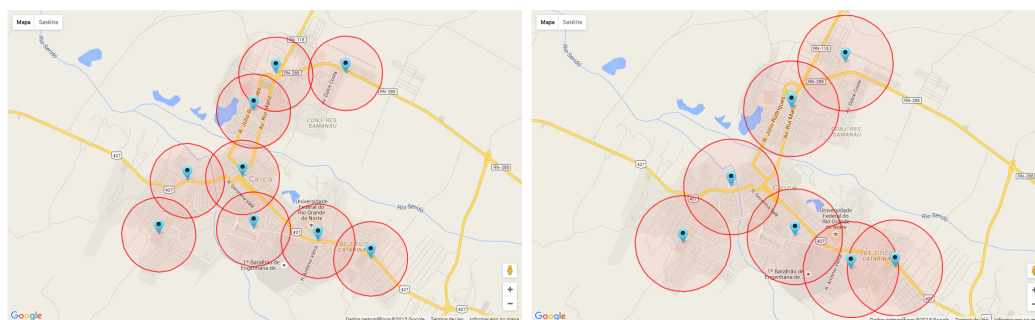


Figura 6: Área de cobertura dos casos de estudo

tempo de deslocamento, por ser o único tempo no modelo que pode sofrer alteração em decorrência da variação na distância entre o ponto base das equipes e o local das ocorrências. A Tabela 4 mostra

os dados que foram alterados no modelo em cada um dos experimentos realizados, de acordo com a variação no número de equipes. Durante as simulações realizadas, o Experimento 1 foi tomado como base de referência para comparação dos demais experimentos.

Tabela 4: Relação dos experimentos realizados

Estudo de Caso	Qtd Equipes	Cobertura	Percentual de Variação	Tempo de Atendimento
Experimento 1	9	700m	valor base	t
Experimento 2	7	900m	+29%	1,29 t
Experimento 3	4	1150m	+64%	1,64 t

4. Resultados

Com base no Experimento 1, tomado como referência, foi possível aplicar testes levando em consideração as distribuições dos tempos de atendimento, aplicando os percentuais obtidos com a alteração na área de cobertura de cada equipe e usando como tempo de aquecimento o período de 12 meses, conforme justificado na seção anterior. Os resultados obtidos a partir da simulação aplicada ao modelo do processo em estudo foram extraídos a partir da aplicação de 30 simulações em cada caso.

Na segunda simulação, foi considerada a redução do número de equipes para 7 (sete), a fim de avaliar o comportamento do sistema em uma possível situação de se ter duas equipes já alocadas para solução de outras ocorrências. Com a redistribuição das equipes, cada viatura passou a ser responsável por uma área de cobertura com raio de 900m, valor 29% maior do que no caso de referência com 9 (nove) equipes, tendo como resposta da simulação um aumento de 14% no tempo de espera na fila de atendimento aos chamados. A variação no tempo de chegada ao local da ocorrência, cuja aumento já era visível pela redistribuição das equipes no território da cidade, se aproximou de 27%, enquanto que o aumento na utilização média da equipe foi de aproximadamente 18%.

Na terceira simulação, aplicou-se uma redução ainda maior, considerando-se a disponibilidade de apenas 4 (quatro) equipes para realizar . Nesse cenário, o valor acrescido às expressões foi de 64%, simulando o comportamento do sistema em situações de redução no número de equipes em decorrência dos períodos de refeições e pausas para descanso. Nesse caso, identificou-se um acréscimo de 32% no tempo de espera na fila do atendimento aos chamados recebidos, enquanto que a variação no tempo de chegada ao local da ocorrência foi acrescido em 64% e o aumento na utilização média da equipe foi de aproximadamente 29%.

Os resultados dos experimentos realizados estão resumidos na Tabela 5, que apresenta os índices de variação no tempo médio na fila e no tempo médio de chegada, representando o tempo total de espera de um chamado. Com base no que é apresentado torna-se possível simular e avaliar de que forma a redução do número de equipes impacta no tempo de resposta à população e no nível de esforço dos agentes que compõem as equipes e como o aumento no tempo de deslocamento impacta no tempo médio total de atendimento, o que pode vir a influenciar no sentimento de segurança da sociedade.

Tabela 5: Impacto da redução das equipes no modelo proposto

Estudo de Caso	Tempo		Utilização Média das Equipes
	Médio na Fila	Médio Chegada	
Experimento 1	01:51 min (base)	10:09 min (base)	51:23 min (base)
Experimento 2	02:06 min (+14%)	12:59 min (+27%)	58:23 min (+18%)
Experimento 3	02:26 min (+32%)	16:45 min (+64%)	66:38 min (+29%)

5. Conclusões

Neste trabalho foram apresentados os resultados obtidos a partir da modelagem e simulação do processo de atendimento aos chamados recebidos em uma Central de Operações da Polícia Militar de uma cidade de pequeno porte localizada no interior do Rio Grande do Norte, com o propósito

de avaliar os impactos ocasionados pela redução dos recursos humanos (número de equipes de patrulhamento policial) utilizados pela corporação no modelo proposto.

Foram considerados como parâmetros de comparação: i) o número de equipes; ii) a área de cobertura de cada equipe; e iii) o tempo de deslocamento das equipes até o local das ocorrências (variáveis independentes), de forma a mensurar a variação no tempo total de espera do solicitante e a variação no tempo que as equipes ficam em atividade para cada caso (variáveis dependentes). Tais fatores ainda influenciam indiretamente: i) na sensação de segurança da sociedade; ii) no nível de cansaço físico dos agentes que compõem as equipes, em decorrência do estresse causado pelo excesso de trabalho; e iii) em alguns casos, na manutenção de provas e preservação da cena do crime.

Este trabalho abre possibilidades para futuros estudos, propiciando: i) a verificação do quanto é possível reduzir o número de equipes e identificar qual o número mais adequado; ii) analisar a variação desse número por turnos de trabalho; e iii) integrar outras técnicas de modelagem como cadeias de Markov para avaliar o impacto da manutenção de veículos nos índices de tempo médio de fila, de utilização média das equipes e, consequentemente, no tempo médio de chegada. Há ainda a possibilidade de replicação deste estudo em cidades de maior população, que certamente apresentam cenários diferentes, permitindo a comparação de resultados que possam vir a confirmar os índices obtidos nos experimentos aplicados neste trabalho.

Referências

- Altioik, T. e Melamed, B. (2010). *Simulation modeling and analysis with Arena*. Academic press.
- Andrade, L. A. e Cunha, C. B. (2014). 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*, 22(2):34–50.
- Automation, R. (2012). Arena simulation software. *Rockwell Automation*, [Online]. Available: http://www.arenasimulation.com/Arena_Home.aspx.
- Birge, J. e Pollock, S. (1989). Modelling rural police patrol. *Journal of the Operational Research Society*, p. 41–54.
- Bretas, M. L. e Rosemberg, A. (2013). A história da polícia no brasil: balanço e perspectivas. *Topoi (Rio de Janeiro)*, 14(26):162–173.
- Chwif, L. e Medina, A. C. (2006). *Modelagem e simulação de eventos discretos*. Afonso C. Medina.
- Ferreira, H. R. S. e Marcial, E. C. (2015). Violência e segurança pública em 2023: cenários exploratórios e planejamento prospectivo.
- Gunal, M., Onggo, S., e Pidd, M. (2008). Improving police control rooms using simulation. *Journal of the operational research society*, 59(2):171–181.
- Jain, R. (1991). *The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling*. Wiley. ISBN 9780471503361. URL <https://books.google.com.br/books?id=t91QAAAAAAAJ>.
- Kolesar, P. e Walker, W. E. (1975). A simulation model of police patrol operations: program description.
- Lamas, J. P. C. et al. (2013). Predição de crimes e otimização de ações de segurança pública para cidades de pequeno porte utilizando geotecnologias.

- Mckenzie, F. D., Petty, M. D., Kruszewski, P. A., Gaskins, R. C., Nguyen, Q.-A. H., Seevinck, J., e Weisel, E. W. (2008). Integrating crowd-behavior modeling into military simulation using game technology. *Simulation & Gaming*, 39(1):10–38.
- Obaidat, M. S. e Boudriga, N. A. (2010). *Fundamentals of performance evaluation of computer and telecommunications systems*. John Wiley & Sons.
- Pastore, P., Guimarães, A. M. C., e DIALLO, M. (2010). Simulação computacional aplicada à logística de distribuição de uniformes da marinha do brasil. *Rio de Janeiro. XXX ENEGEP*.
- Silva, P. M. S. (2010). *Análise do serviço de atendimento móvel de urgência (SAMU) de Belo Horizonte via simulação e otimização*. PhD thesis, Universidade Federal de Minas Gerais.