

Processos de otimização de redes de oficinas de manutenção veicular utilizando técnicas RAM (Reliability, Availability and Maintainability) e o Método Monte Carlo

Daniel Enrique Castro

Coordinator of NEC&MS - E-mail: daniel@plusengenharia.com.br

Marlon Antônio Pinheiro

Helder Alves de Almeida Júnior

Jean Carlos Rodrigues

Núcleo de Engenharia de Confiabilidade e Manutenção de Sistemas (NEC&MS) – CEFET-MG
Maintenance and Reliability Engineering Group- Technical Federal Center of Minas Gerais (CEFET-MG)
Av. Amazonas 7675 - 30.510.000 – Nova Gameleira - Belo Horizonte – MG

Copyright © 2010 Society of Automotive Engineers, Inc

ABSTRACT

Modern societies are characterized by rapid economic growth developing worldwide market networks and globalization of products and services. This trend has been accompanied by increasing mobility or in other words increasing the ability to move products and people from one point to another within urban centers as well as between urban centers. In addition to adequate transport networks (roads, streets, etc.) an adequate availability of vehicles (cars, buses, trucks, etc.) must exist too in order to ensure this mobility. Vehicle availability is function of vehicle reliability and maintainability. These two parameters depend on human and technical factors. Reliability is the probability of a system to operate without failures during a given period of time. Reliability analysis needs reliable time between failures data bases. Reliability analysis can be used to determine when components of a system should be replaced before they fail. Maintainability is the ability to repair components in a fixed time. It depends on human expertise to repair systems. This requires well trained technical personnel as well as spare parts availability. Maintainability depends basically on technical and organizational capacity of maintenance shops. To ensure that all vehicles will be serviced on time (when an automotive component reaches a critical reliability level) enough service stations should be available in the mobility network. To achieve this goal an adequate service station distribution within urban areas (with higher density of vehicles) and also between urban areas (particularly for

heavy vehicles transporting people and goods) must be defined. Surveys and research activities oriented to analyze automotive workshop parameters like time to repair, service quality, technical and management skills were performed at the Center for Reliability and Maintenance Engineering (NEC&MS) of Cefet-MG (Technical Federal Center of Minas Gerais). Based on these data an analysis oriented to simulate maintenance performance of shop networks located in a specific urban district was performed. To accomplish this analysis a combination of RAM-technique (reliability, availability and maintainability) and Monte Carlo simulation method were used in order to describe random and pseudo-random sampling procedures which do adapt adequately to describe vehicle repair processes by a network of vehicle maintenance shops. The purpose of this analysis is to elaborate a method to optimize service performance of vehicle maintenance shops within a determined urban region. This analysis will give insight about the main parameters should be managed in an urban maintenance shop network in order to optimize final vehicle availability and quality service.

OBJETIVOS

Apresentar uma metodologia que permita avaliar a capacidade de atendimento de uma rede de oficinas mecânicas de veículos numa cidade ou centro urbano. Avaliar os parâmetros que permitam gerenciar a capacidade de atendimento e definir estratégias que otimizam o nível de atendimento dos centros de reparo (oficinas mecânicas

de veículos) e também a disponibilidade e confiabilidade dos veículos da frota em circulação. Para o processo de modelagem e simulação da rede de oficinas serão utilizados dados obtidos através de levantamentos em campo, realizados em oficinas veiculares da região metropolitana de Belo Horizonte e dados estatísticos do Departamento de Trânsito (DETRAN) de Minas Gerais. Os resultados obtidos serão discutidos em relação à importância do processo de simulação na seleção de estratégias adequadas para a gestão de recursos humanos e materiais envolvidos no processo de manutenção veicular em grandes cidades e centros urbanos.

INTRODUÇÃO

As sociedades modernas estão caracterizadas hoje pelo rápido crescimento econômico baseado na interligação de mercados e na globalização de produtos e serviços. Esta tendência vem acompanhada do aumento crescente da mobilidade, ou seja, capacidade de transportar produtos e/ou pessoas de um ponto a outro dentro de um centro urbano ou entre centros urbanos. Para garantir esta mobilidade, além de vias de transporte adequadas (estradas, ruas, etc.), deve existir uma disponibilidade adequada dos veículos que realizam o transporte (automóveis, ônibus, caminhões, etc.). Esta disponibilidade é função da confiabilidade dos veículos e da manutenibilidade (capacidade de consertar os veículos em um determinado intervalo de tempo). Estes dois parâmetros dependem de fatores humanos e técnicos. A confiabilidade é a probabilidade de um sistema funcionar sem falhas em um determinado período de tempo. Para conhecer a confiabilidade, é necessário coletar dados de tempos entre falhas e processar estes dados de forma a obter os perfis de confiabilidade de todos os sistemas do veículo. Assim, a confiabilidade permite determinar quando os componentes devem ser trocados antes deles apresentarem falhas. A manutenibilidade é um parâmetro que depende da perícia humana em trocar componentes em tempos pré-determinados. Para isto, é necessário ter pessoal técnico muito treinado e também disponibilidade de peças na hora de realizar o reparo. A manutenibilidade depende basicamente da capacidade técnica e organizacional das oficinas de manutenção. Para garantir ainda que todos os veículos da rede sejam atendidos na hora certa (quando o perfil de confiabilidade determinar o momento adequado da troca do componente) devem existir postos de atendimento suficientes para prestar os serviços necessários em todos os veículos da rede. Para isto, deve-se definir uma distribuição adequada de postos de serviço (oficinas) nos centros urbanos (onde existe mais densidade de veículos nas redes de mobilidade) e também entre centros urbanos (em particular para os veículos pesados, responsáveis pelo transporte de pessoas e mercadorias). No Núcleo de Engenharia de Confiabilidade e Manutenção de Sistemas (NEC&MS) do CEFET-MG vem sendo realizado há muitos anos o levantamento de dados e pesquisas referentes à manutenção veicular considerando dimensões tais como

tempos de conserto, qualidade de atendimento, capacitação técnica e capacidade de gestão das oficinas. Com base nestes dados e nos dados históricos de falhas levantados em diferentes veículos será realizado um estudo direcionado à otimização do processo global de manutenção de redes de oficina instaladas num determinado bairro de uma cidade. Para este estudo, serão combinadas a técnica RAM (Reliability, Availability and Maintainability) e o método de simulação Monte Carlo. Esta combinação permitirá a modelagem de processos de amostragem aleatórios e pseudo-aleatórios, que se adaptam adequadamente à descrição do processo de manutenção de veículos de uma frota. A finalidade deste estudo é dimensionar adequadamente os processos de manutenção das oficinas e também de otimizar sua distribuição numa determinada região geográfica. Este estudo permitirá obter parâmetros que melhorem o atendimento de redes de oficinas e garantam maximizar a disponibilidade dos veículos.

CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO VEICULAR EM GRANDES CENTROS URBANOS

Existem aproximadamente 30 milhões de veículos trafegando nas vias brasileiras, com uma relação de 6,4 habitantes por veículo. Minas Gerais responde pela segunda maior frota veicular do país, com aproximadamente 3,5 milhões de automóveis, segundo dados do DETRAN-MG (Departamento de Trânsito de Minas Gerais). O custo médio de manutenção no Brasil é, segundo dados da ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção), de 4,4% em relação ao Produto Interno Bruto (PIB). No setor de transporte terrestre, a manutenção dos veículos pode chegar a até 20% do faturamento das empresas. Por causa destes números expressivos, é importante considerar a manutenção veicular com uma visão mais estratégica e crítica. Além destes aspectos econômicos, existem outros fatores relevantes como, por exemplo, a segurança de passageiros e pedestres, a integridade do meio-ambiente e os fatores econômicos relativos às perdas das empresas dos setores de logística e transporte decorrentes de falhas nos veículos de transporte de cargas. É neste cenário extremamente competitivo e dinâmico, que surge a necessidade de inovar, para otimizar os processos de manutenção, buscando garantir a confiabilidade operacional dos veículos a custos menores e reduzindo as perdas existentes nos processos de manutenção.

O processo de manutenção veicular numa cidade consiste basicamente numa rede de oficinas veiculares (centros de reparo) distribuídos aleatoriamente nos diferentes bairros da cidade e de veículos, também distribuídos de forma aleatória. Os parâmetros que caracterizam o processo de manutenção são, por um lado, o tempo necessário para reparar os veículos e a frequência de falhas dos próprios veículos. Estes parâmetros são caracterizados através de dois indicadores denominados MTTR (Mean Time to Repair ou Tempo Médio de Reparo) e MTBF (Mean Time

Between Failures ou Tempo Médio entre Falhas). O MTBF pode ser considerado o tempo médio real de operação do veículo, ou seja, o tempo que o proprietário circula com seu veículo sem que este apresente falhas. O MTTR representa o tempo médio utilizado pelos reparadores (técnicos das oficinas) para consertarem um veículo que apresenta algum tipo de falha (ou Modo de Falha no vocabulário da Engenharia de Manutenção). A denominada disponibilidade do veículo é a relação entre o tempo de funcionamento sem falhas, ou seja o MTTR e o tempo total disponível, que é a soma do MTBF e do MTTR.

$$D = \text{Disponibilidade} = \text{MTBF}/(\text{MTBF}+\text{MTTR}) \quad (1)$$

Na gestão do processo de manutenção é necessário maximizar a disponibilidade dos sistemas, o que implica na maximização dos tempos entre falhas e na minimização dos tempos de reparo. Para gerenciar de forma adequada o processo de manutenção são utilizados os parâmetros inversos ao MTBF e MTTR, denominados respectivamente taxa de falhas (identificado com a letra grega λ) e taxa de reparo (identificado com a letra grega μ)

$$\lambda = 1/\text{MTBF} \quad [\text{falhas por unidade de tempo}] \quad (2)$$

$$\mu = 1/\text{MTTR} \quad [\text{reparos por unidade de tempo}] \quad (3)$$

Os parâmetros definidos anteriormente (MTBF, MTTR ou seus valores inversos λ e μ) representam somente os valores médios de um comportamento realmente variável dos tempos de reparo e das taxas de falha. Na realidade, nem os tempos de reparo são constantes e nem as falhas acontecem sempre em intervalos iguais. Isto significa que, para gerenciar de forma precisa o processo de manutenção, é necessário considerar uma variação aleatória de ambas variáveis (tempos de reparo e taxas de falha). Do ponto de vista estatístico, isto significa que é necessário avaliar não somente os tempos médios, mas também suas dispersões. Para isso, é necessário utilizar modelos estatísticos ou funções de distribuição de probabilidades como, por exemplo, o modelo de Gauss ou o de Poisson ou qualquer outro modelo, que descreva de forma razoável o comportamento real observado nas distribuições de tempos de reparo e de tempos entre falhas. Em geral, é possível utilizar como primeira aproximação o modelo de Gauss, já que este se adapta à maioria dos fenômenos aleatórios encontrados na prática. No contexto do modelo de Gauss, além do valor médio (ou valor central) é necessário determinar o desvio padrão, que mede precisamente o nível de dispersão da variável estudada em relação ao valor central.

No processo de manutenção, é necessário considerar que as falhas aleatórias originadas em processos de desgaste ou processos acidentais de falha estão atreladas a processos de reparo denominados corretivos (ou imprevistos). Para minimizar este tipo de falhas, que causam grandes

transtornos e impactos negativos para os proprietários dos veículos, é necessário introduzir processos de revisão e troca sistêmica de peças, denominadas atividades preventivas, que também exigem recursos materiais e humanos nas oficinas e devem também ser contabilizados na gestão do processo de manutenção. Assim, é necessário definir taxas de falha corretivas e preventivas e também tempos de reparo corretivos e preventivos.

$$\lambda_{\text{total}} = \lambda_{\text{corr}} + \lambda_{\text{prev}} \quad (4)$$

$$\mu_{\text{total}} = \mu_{\text{corr}} + \mu_{\text{prev}} \quad (5)$$

No processo de manutenção é necessário considerar que existe um número N de veículos a serem atendidos e um número K de oficinas de manutenção para a execução dos serviços. Por sua vez, cada oficina tem um número L de atendentes (técnicos nos seus postos de trabalho), assim o número total de postos de trabalho disponíveis para o atendimento é M igual a K oficinas vezes L atendentes por oficina

N = Número de veículos a serem atendidos

K = Número de oficinas disponíveis

L = Número de postos de trabalho por oficina

M = Número total de postos de serviço

$$M = K \times L \quad (6)$$

Durante a operação da frota existem sempre falhas acidentais e por desgaste acontecendo de forma aleatória nos diferentes veículos da frota. O número de veículos afetados por falha pode ser designado por S

S = Número de veículos em condição de falha

É importante salientar que S varia de forma aleatória, ou seja, em um dia podem falhar muitos veículos da frota e no dia seguinte não falhar nenhum.

Para calcular as taxas de falha e as taxas de reparo é necessário conhecer o número de falhas que acontecem em um determinado período de tempo e os tempos de reparo correspondentes a serviços preventivos e corretivos. No vocabulário utilizado na área de manutenção, cada serviço realizado gera uma ordem de serviço (OS); se o serviço é preventivo a ordem de serviço é de caráter preventivo (OS_{prev}) e se os serviços são corretivos geram de forma análoga ordens de serviço corretivas (OS_{corr}).

DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO

Para simular o processo de manutenção real será utilizado o conceito da teoria de filas (Winston W.L, 2004). A teoria das filas é um ramo da probabilidade que estuda a formação

de filas, através de análises matemáticas precisas e propriedades mensuráveis das filas. Ela provê modelos para demonstrar previamente o comportamento de um sistema que ofereça serviços cuja demanda cresce aleatoriamente, tornando possível dimensioná-lo de forma a satisfazer os clientes e ser viável economicamente para o provedor do serviço, evitando desperdícios e gargalos. Uma fila ocorre sempre que a procura por um determinado serviço é maior do que a capacidade do sistema de prover este serviço. Um sistema de filas pode ser definido como clientes chegando, esperando pelo serviço (se não forem atendidos imediatamente) e saindo do sistema após terem sido atendidos. "Cliente", em teoria das filas, é um termo genérico, aplicando-se não somente a seres humanos. O conceito pode abranger, por exemplo, processos computacionais esperando atendimento de uma CPU; pacotes de dados que chegam a um roteador para serem encaminhados; pessoas esperando no caixa do supermercado, etc. No caso analisado, os Clientes são os veículos que deverão ser atendidos pelas oficinas (Centros de Serviço).

Denotando a taxa de clientes chegando ao sistema de filas como λ e a taxa média de serviços como μ é possível verificar que estes dois parâmetros correspondem no processo de manutenção à taxa de falhas e taxa de reparo respectivamente. Para que exista garantia de atendimento dos clientes é necessário cumprir a seguinte relação

$$\lambda < M \mu \quad (7)$$

M = Número total de postos de serviço

Para avaliar a qualidade de atendimento é definido o fator de congestionamento ρ definido da seguinte forma:

$$\rho = \lambda / M \mu \quad (8)$$

Quando o número de chegadas λ é maior do que o potencial total de atendimento ($M \mu$), isto significa $\rho > 1$, a fila de clientes aumentará de forma crescente no tempo, gerando desequilíbrio no sistema.

Na vida real ter uma condição representada por um fator de congestionamento $\rho < 1$ significa que o cliente será atendido. Mas, é importante salientar que quanto mais perto de um ficar o valor do fator de congestionamento, as dificuldades de atendimento são cada vez maiores, sendo assim necessário definir limites máximos no fator de congestionamento para garantir um atendimento adequado aos clientes. O objetivo do presente trabalho foi calcular os fatores de congestionamento existentes em um processo de manutenção de frotas de veículos numa cidade. Para a simulação foram utilizados dados da cidade de Belo Horizonte. Desta forma os resultados obtidos são válidos somente para a região metropolitana de Belo Horizonte.

Para simular o comportamento das taxas de chegada de clientes (taxas de falha) e as taxas de serviço (taxas de reparo) foi utilizado o método de Monte Carlo (MMC) (Hammersley e Handscomb, 1964; Hromkovic, 2001). O método de Monte Carlo é um método estatístico utilizado em simulações estocásticas com diversas aplicações em áreas como a física, matemática e biologia. O método de Monte Carlo tem sido utilizado há bastante tempo como forma de obter aproximações numéricas de funções complexas. Este método envolve tipicamente a geração de observações de alguma distribuição de probabilidades e o uso da amostra obtida para aproximar a função de interesse. No caso deste trabalho, o método é utilizado para avaliar o comportamento da distribuição de fatores de congestionamento ρ em função de distribuição de probabilidades de taxas de falha e taxas de reparo. A figura a seguir mostra o fluxograma esquemático do processo de cálculo utilizado na simulação

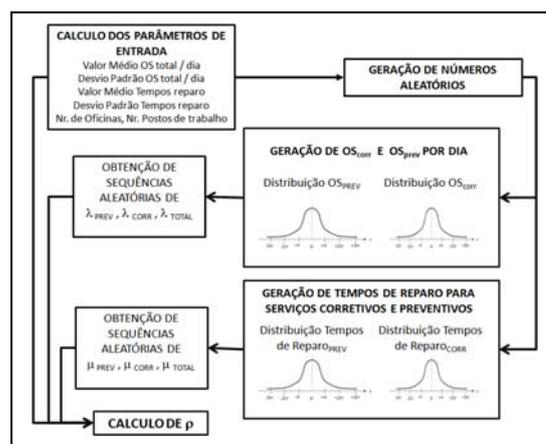


Figura 1 – Fluxograma do Processo de Cálculo dos fatores de congestionamento das oficinas.

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ENTRADA

A simulação foi realizada considerando parâmetros correspondentes à cidade de Belo Horizonte. Para poder iniciar a simulação, é necessário definir três parâmetros característicos da cidade de Belo Horizonte: o universo total de veículos existente na cidade, o número total de oficinas de manutenção e por último o número de postos de serviço existentes em cada oficina. Para avaliar o número total de veículos foram utilizados dados do Departamento de Trânsito da cidade de Belo Horizonte (DETRAN-MG). De acordo com esta fonte, existem atualmente 888.465 veículos cadastrados no DETRAN-MG, considerando automóveis e caminhonetes. Em relação ao número de oficinas foi consultado o Sindicato de Reparadores de Minas Gerais (SINDIREPA MG), que informou um número de 3000 oficinas cadastradas oficialmente na cidade. Para determinar o número médio de postos de serviço em cada oficina foram utilizados dados estatísticos levantados em estudo realizado em um

universo de oficinas mecânicas da cidade de Belo Horizonte (Castro e Pinheiro, 2008). De acordo com este estudo, existem em média 4 técnicos por oficina de manutenção, ou seja, que o número de postos de serviço a ser considerado na simulação pode ser igual a este valor.

Outros parâmetros necessários no processo de simulação são os relacionados com a distribuição de tempos de reparo das oficinas. Com base em estudos realizados anteriormente (Castro e Pinheiro, 2006 e 2008) foi possível verificar que somente para a realização dos orçamentos, as oficinas demoram entre 1 e 4 horas. Os tempos de reparo oscilam também em função do tipo de serviço, assim serviços preventivos demoram muito menos do que serviços corretivos, onde os técnicos demoram na identificação da causa da falha e a chegada de peças sobressalentes é também mais demorada. Além dos tempos de reparo, é necessário incluir no processo de simulação a variação das taxas de falha, já que estas podem ser originadas em processos acidentais ou por desgaste normal. No primeiro caso são gerados serviços de caráter corretivo enquanto no segundo tipo de falhas é mais provável a execução de serviços preventivos. Desta forma, é necessário considerar no processo de simulação os dois tipos serviços: corretivos e preventivos. Por este motivo, foram caracterizados dois cenários diferentes de simulação, um cenário de caráter mais preventivo e outro de caráter mais corretivo. O objetivo de considerar estes dois cenários foi o de verificar o que acontece com o atendimento das oficinas nos dois tipos de cenários (corretivo e preventivo).

CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO PREVENTIVO (CENÁRIO 1)

Neste cenário foi considerado que do universo total de veículos existentes, 50% correspondem a veículos relativamente novos (com quilômetros < 50.000 Km) e 50% correspondem a veículos mais velhos (com quilômetros > 50.000 Km). Esta divisão de idade foi adotada em função de observações em campo realizadas em oficinas mecânicas da região metropolitana de Belo Horizonte (Castro e Pinheiro, 2009) onde foi verificado que as taxas de manutenção corretiva em veículos automotores aumentam de forma contínua até atingir um máximo para uma quilometragem de 50.000 Km. Isto provavelmente acontece porque os veículos com quilômetros inferiores a 50.000 Km se encontram ainda no período de garantia dos fabricantes e nesta fase são realizadas ainda inspeções e trocas preventivas por parte dos usuários. Veículos acima de 50.000 Km se encontram em geral fora dos períodos de garantia e assim, é mais severo o processo de desgaste nos

diferentes sistemas do veículo, já que os usuários não realizam as manutenções preventivas de forma periódica. Desta forma, para fins de análise deste trabalho foram considerados veículos novos aqueles com quilômetros inferiores a 50.000 Km e como veículos velhos (ou com taxas de desgaste mais severas) os que superam os 50.000 Km rodados. Em geral, os carros novos recebem manutenção preventiva (dentro do período de garantia dos fabricantes), sendo que geralmente este tipo de manutenção é realizado pela própria concessionária. Em média, a frequência observada na maior parte das concessionárias para realizar as revisões preventivas é de seis meses, o que significa na geração em média de duas Ordens de Serviço preventivas por ano e por veículo. No caso dos veículos mais velhos (acima de 50.000 Km), no cenário preventivo foi adotada a mesma rotina de revisões periódicas que no caso dos veículos novos. É necessário salientar que na realidade atual da frota do país este tipo de revisão não acontece, já que os donos dos veículos deixam de realizar as revisões devido ao fato de que os veículos estão fora do período de garantia do fabricante (em média 50.000 km rodados ou dois a três anos de uso). Além de considerar a manutenção da rotina de duas revisões preventivas por ano e por veículo, neste cenário foi acrescentada uma atividade corretiva ao ano em cada veículo. Desta forma, os veículos mais velhos teriam duas intervenções preventivas e uma corretiva por ano, o que corresponde a uma taxa de 33,33% de manutenção corretiva e 66,66% de manutenção preventiva. Para o cálculo das taxas de falha e tempos de reparo foram consideradas falhas por hora e reparos por hora. Como os dados de serviços preventivos e corretivos foram calculados com base anual, foi necessário adotar um critério para definir quantas horas de funcionamento um veículo apresenta, em média. Para fazer esta avaliação foi adotado o critério que a maior parte dos veículos circula durante os dias hábeis da semana (cinco dias por semana) e que em média cada veículo circula entre duas e três horas por dia, ou seja, em média 2,5 horas. Com base nestas considerações e levando-se em conta um universo total N=100.000 veículos (que foi o universo adotado para realizar a simulação) foram obtidos os seguintes valores de Ordens de Serviço para um universo de 100.000 veículos.

Nro. OS prev/dia para carros novos	274 os/dia	154 os/hr
Nro. OS prev/dia para carros velhos	274 os/dia	154 os/hr
Nro. OS corr/dia para carros velhos	137 os/dia	77 os/hr
<hr/>		
Total OS prev/dia	548 os/dia	308 os/hr
Total OS corr/dia	137 os/dia	77 os/hr

Tabela 1 – Parâmetros de entrada para o cenário preventivo (cenário 1) : Ordens de Serviço por veículo.

Os valores da tabela 1 são realmente valores médios. Isto não significa que todos os dias os veículos apresentam este número de serviços preventivos e corretivos. Desta forma, foi considerado um perfil de variação de serviços seguindo o modelo Gaussiano, onde a variação depende do valor

médio e do desvio padrão (fator de dispersão). Para o processo de simulação foi adotado o critério que a amplitude da distribuição é da mesma ordem de grandeza que o valor central. Com isso, o desvio padrão pode ser considerado aproximadamente 1/6 do valor central. Com base nestas considerações, foram obtidos os seguintes valores correspondentes aos parâmetros da distribuição de Gauss para os serviços preventivos e corretivos respectivamente.

Nro. médio de serviços	548 os/dia	308 os/hr
Desvio padrão do Nro. Serviços prev	91 os/dia	51 os/hr
Nro. médio de serviços corr	137 os/dia	77 os/hr
Desvio padrão do Nro. Serviços corr	23 os/dia	13 os/hr

Tabela 2 – Parâmetros de entrada para o cenário preventivo (cenário 1) : valores médios e desvios padrão para a distribuição Gaussiana de Ordens de Serviços preventivos e corretivos.

CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO CORRETIVO (CENÁRIO 2)

Neste cenário foi considerada uma proporção maior de carros velhos em relação a carros novos na frota em circulação. Foi adotada uma proporção de 70% de carros velhos e 30% de carros novos, o que corresponde aproximadamente à proporção entre carros velhos e novos existente no Brasil atualmente. Além desta consideração foi adotada também uma proporção maior de manutenção corretiva nos veículos mais velhos. Neste cenário foi considerado que os carros mais velhos apresentam duas falhas corretivas e somente uma ação preventiva por ano. Desta maneira, a taxa de manutenção corretiva para os carros velhos é neste cenário de 66,66% e a taxa de manutenção preventiva somente 33,66%. Estas proporções são mais próximas das relações existentes atualmente na frota circulante de veículos. Em geral, os carros mais velhos somente são levados às oficinas mecânicas para sanar falhas corretivas. No caso dos veículos novos foram mantidos neste cenário os valores de taxas de serviços preventivos do cenário anterior.

Com base nestas considerações, os parâmetros de cálculo utilizados neste cenário são os seguintes:

Nro. OS prev para carros novos	164 os/dia	92 os/hr
Nro. OS prev para carros velhos	192 os/dia	108 os/hr
Nro. OS corr para carros velhos	384 os/dia	215 os/hr
Total OS prev	356 os/dia	200 os/hr
Total OS corr	384 os/dia	215 os/hr

Tabela 3 – Parâmetros de entrada para o cenário corretivo (cenário 2) : Ordens de Serviço por veículo.

Nro. médio de serviços	356 os/dia	200 os/hr
Desvio padrão do Nro. Serviços prev	59 os/dia	33 os/hr
Nro. médio de serviços corr	384 os/dia	215 os/hr
Desvio padrão do Nro. Serviços corr	64 os/dia	36 os/hr

Tabela 4 – Parâmetros de entrada para o cenário corretivo (cenário 2) : valores médios e desvios padrão para a distribuição Gaussiana de Ordens de Serviços preventivos e corretivos.

CARACTERIZAÇÃO DOS TEMPOS DE REPARO

De maneira análoga à determinação de parâmetros realistas para o número de serviços preventivos e corretivos para os veículos da frota, também é necessário definir critérios que permitam estabelecer parâmetros realistas para os tempos de reparo das oficinas (centros de serviço) por ser também parâmetros de entrada no processo de simulação.

Assim, como no caso dos serviços, aqui é necessário também diferenciar o comportamento de reparos corretivos e preventivos. Os primeiros são bem mais demorados do que os segundos. Como base de cálculo foi adotado o critério de considerar os reparos corretivos duas vezes mais demorados do que os reparos preventivos. Outro ponto que serve para determinar os tempos de reparo é o fato observado no estudo realizado em oficinas de manutenção veicular (Castro e Pinheiro, 2008) onde foi determinado que o tempo que as oficinas demoram em fornecer o orçamento de um serviço é de aproximadamente quatro horas. Com base neste dado foi considerado que os serviços preventivos demoram, no mínimo, o mesmo tempo que a oficina precisa para dar um orçamento. Desta forma, os serviços preventivos demoram em média quatro horas em ser realizados e os corretivos o dobro deste tempo, ou seja, 8 horas. Além dos valores médios, é necessário considerar a variação dos tempos de reparo. Assim, como no caso da distribuição das Ordens de Serviço por dia, neste caso será também adotada a distribuição Gaussiana para modelar o processo de variação de tempos de reparo. Para a definição dos desvios padrão foi considerado também o valor de 1/6 da amplitude da distribuição, e o valor da amplitude foi considerado igual ao valor central (valor médio). Desta forma, os parâmetros da distribuição de tempos de reparo adotados para os serviços corretivos e preventivos são os seguintes:

Para serviços preventivos:

$$MTTR \text{ prev} = 4 \text{ horas/reparo}$$

$$\sigma_{tprev} = 0,66 \text{ horas/reparo}$$

Para serviços corretivos:

$$MTTR \text{ corr} = 8 \text{ horas/reparo}$$

$$\sigma_{tcorr} = 1,33 \text{ horas/reparo}$$

Para o processo de simulação foram adotados os seguintes valores de número de oficinas e postos de serviço por oficina:

$K =$ Número de oficinas disponíveis = 3000

$L =$ Número de postos de trabalho por oficina = 4

Como mencionado anteriormente, estes valores correspondem ao total de oficinas cadastradas no Sindicato de Reparadores de Belo Horizonte e a levantamentos realizados em campo em diferentes oficinas da região metropolitana de Belo Horizonte, que indicaram um número médio de 4 técnicos por oficinas (postos de serviço).

DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO

Como já foi mencionado nas seções anteriores, o processo de simulação utilizado aplica o Método de Monte Carlo (MMC) à teoria de filas. O MMC permite a descrição do comportamento de processos estocásticos utilizando a geração de números aleatórios aplicados a um conjunto de variáveis aleatórias, de forma de avaliar a tendência da solução final e compreender a influência das diferentes variáveis envolvidas na solução final. No caso deste trabalho, as variáveis de entrada são as taxas de falha (λ) dos veículos, as taxas de reparo (μ) dos postos de serviço, o número total de veículos (N), o número total de oficinas (K) e o número de postos de trabalho por oficina (L). As taxas de falha e as taxas de reparo são consideradas funções aleatórias com distribuição Gaussiana. O processo de simulação foi realizado utilizando a rotina de cálculo de geração de números aleatórios e as ferramentas de análise estatística do software Excel da Microsoft.

O processo de simulação foi limitado a um mês (30 dias). Foram gerados 30 números aleatórios, um para cada dia do mês. A partir destes números, foram calculados os números de ordens de serviço preventivas e corretivas para cada dia do mês, utilizando a distribuição gaussiana para cada tipo de serviço. Com base nestes resultados foram calculadas as seqüências aleatórias de taxas de falha corretiva, preventiva e total para cada dia do mês.

De forma similar, foram calculados os valores de taxas de reparo, gerando 30 números aleatórios e utilizando estes números para determinar os tempos de reparo corretivos, preventivos e totais, para cada dia do mês. Com base nestes valores, foram calculadas as taxas de reparo corretivas, preventivas e totais para cada dia do mês.

Utilizando a equação (8) foram posteriormente calculados os fatores de congestionamento (ρ) para cada dia do mês, considerando o valor de M a partir da equação (6).

Para garantir a convergência dos resultados foram realizados 10 processos de simulação, ou seja, foram obtidas 10 séries de 30 resultados de ρ (um para cada dia do mês). A comparação dos resultados obtidos em cada

série permite ver a dispersão dos resultados, ou seja, a convergência ou não da solução.

Para facilitar a interpretação dos resultados, os 30 valores obtidos de ρ em cada série foram classificados nas seguintes faixas:

FAIXA 1 : $0 < \rho < 0,5$ (0 a 50%)

FAIXA 2 : $0,5 < \rho < 0,8$ (50 a 80%)

FAIXA 3 : $0,8 < \rho < 1$ (80 a 100%)

FAIXA 4 : $\rho > 1$ (acima de 100%)

O fator de congestionamento pode ser interpretado como a probabilidade de um serviço não ser atendido pelo centro de reparo. No caso analisado seria a probabilidade que o dono de um veículo ao levar o seu veículo à oficina não seja atendido na hora da chegada, ou seja, deverá ficar em uma fila de espera. Desta forma, se o fator de congestionamento for inferior a 0,5 (faixa 1) significa que existe entre 50% e 100% de probabilidade do dono do veículo ser atendido imediatamente, o que podemos considerar como uma boa probabilidade de atendimento. No caso em que o fator de congestionamento se encontra entre 0,5 e 0,8 (faixa 2) significa que a probabilidade de atendimento é entre 20% e 50%, ou seja, uma probabilidade fraca ou regular de atendimento por parte da oficina. Se o fator de congestionamento ficar entre 0,8 e 1 (faixa 3) isto significa que a probabilidade de atendimento será somente entre 0% e 20%, o que pode ser considerado como baixa probabilidade de atendimento. Por último se o fator de congestionamento for superior a um (faixa 4), isto significa impossibilidade total de atendimento, ou seja o cliente certamente não será atendido. Desta maneira, podemos resumir as características de atendimento em cada faixa da seguinte forma:

FAIXA 1 : Boa Probabilidade de atendimento

FAIXA 2 : Probabilidade regular de atendimento

FAIXA 3 : Baixa Probabilidade de atendimento

FAIXA 4 : Impossibilidade de atendimento

RESULTADOS DA PRIMEIRA SIMULAÇÃO

Como foi detalhado na seção anterior, o resultado final da simulação foram 10 séries de 30 valores de ρ (fatores de congestionamento). Os 30 valores de cada série foram classificados nas quatro faixas de valores indicadas anteriormente. A seguir são apresentados os resultados obtidos no processo de simulação, considerando os dois cenários (cenário 1 ou cenário preventivo e cenário 2 ou cenário corretivo). É importante salientar que neste

primeiro resultado do processo de simulação foi considerado um número de quatro técnicos por oficina. Como será mostrado na próxima seção, o aumento ou diminuição deste número pode alterar de forma significativa o resultado no perfil de atendimento.

CENÁRIO 1 (PREV) (4 mecânicos)				
SERIE	FAIXA			
	1	2	3	4
1	0,0000	66,6667	33,3333	0,0000
2	0,0000	63,3333	36,6667	0,0000
3	0,0000	70,0000	30,0000	0,0000
4	0,0000	66,6667	33,3333	0,0000
5	3,3333	73,3333	23,3333	0,0000
6	3,3333	56,6667	40,0000	0,0000
7	3,3333	66,6667	26,6667	3,3333
8	0,0000	73,3333	26,6667	0,0000
9	3,3333	76,6667	20,0000	0,0000
10	0,0000	63,3333	36,6667	0,0000
min	0,0000	56,6667	20,0000	0,0000
max	3,3333	76,6667	40,0000	3,3333
medio	1,3333	67,6667	30,6667	0,3333
σ (desvio)	1,7213	5,8899	6,4406	1,0541

Tabela 5 – Resultados do Primeiro Processo de Simulação para o cenário preventivo.

CENÁRIO 2 (CORR) (4 mecânicos)				
SERIE	FAIXA			
	1	2	3	4
1	0,0000	46,6667	46,6667	6,6667
2	0,0000	26,6667	73,3333	0,0000
3	0,0000	50,0000	46,6667	3,3333
4	0,0000	56,6667	40,0000	3,3333
5	0,0000	40,0000	53,3333	6,6667
6	0,0000	60,0000	40,0000	0,0000
7	0,0000	43,3333	53,3333	3,3333
8	0,0000	13,3333	70,0000	16,6667
9	0,0000	40,0000	53,3333	6,6667
10	0,0000	56,6667	40,0000	3,3333
min	0,0000	13,3333	40,0000	0,0000
max	0,0000	60,0000	73,3333	16,6667
medio	0,0000	43,3333	51,6667	5,0000
σ (desvio)	0,0000	14,4871	11,8894	4,7791

Tabela 6 – Resultados do Primeiro Processo de Simulação para o cenário corretivo.

As tabelas 5 e 6 mostram a distribuição da frequência relativa de resultados do fator de congestionamento (no total 30 resultados) em cada uma das faixas analisadas. Na parte inferior das tabelas 5 e 6 são mostrados os valores máximos e mínimos observados, assim como o valor médio e o correspondente desvio padrão para cada faixa de valores. Pode-se observar que o desvio padrão é relativamente pequeno comparado com o valor médio, em particular nas faixas dois e três. Para as outras faixas, os valores dos desvios são maiores comparados ao valor

central, o que se justifica pela baixa frequência de resultados nestas duas faixas. Isto mostra que os resultados das 10 séries de simulações realizadas convergem para um comportamento comum, o qual pode ser representado pelos valores médios observados em cada faixa.

RESULTADOS DA SEGUNDA SIMULAÇÃO

Como pode ser visto nos resultados das tabelas 5 e 6, as faixas de maior frequência de resultados são faixas de atendimento regular e baixo (faixa 2 e 3). No caso do cenário corretivo (tabela 6) existem 5% de resultados na faixa de impossibilidade de atendimento (faixa 4).

Para verificar a confiabilidade do processo de simulação na descrição adequada do problema analisado (capacidade de atendimento de oficinas de manutenção veicular) foi realizado um segundo ciclo de simulações onde foi aumentado o número de postos de trabalho por oficina de quatro para cinco. Com esta alteração deveria ser observada uma melhoria no perfil de atendimento das oficinas, já que foi aumentado o número de técnicos o número de postos de trabalho. Os resultados desta segunda simulação são apresentados nas seguintes tabelas:

CENÁRIO 1 (PREV) (5 mecânicos)				
SERIE	FAIXA			
	1	2	3	4
1	6,6667	93,3333	0,0000	0,0000
2	3,3333	96,6667	0,0000	0,0000
3	10,0000	90,0000	0,0000	0,0000
4	13,3333	86,6667	0,0000	0,0000
5	13,3333	86,6667	0,0000	0,0000
6	16,6667	83,3333	0,0000	0,0000
7	10,0000	86,6667	3,3333	0,0000
8	6,6667	93,3333	0,0000	0,0000
9	10,0000	90,0000	0,0000	0,0000
10	6,6667	93,3333	0,0000	0,0000
min	3,3333	83,3333	0,0000	0,0000
max	16,6667	96,6667	3,3333	0,0000
medio	9,6667	90,0000	0,3333	0,0000
σ (desvio)	3,9907	4,1574	1,0541	0,0000

Tabela 7 – Resultados do Segundo Processo de Simulação para o cenário preventivo.

CENÁRIO 2 (CORR) (5 mecânicos)				
SERIE	FAIXA			
	1	2	3	4
1	0,0000	93,3333	6,6667	0,0000
2	0,0000	100,0000	0,0000	0,0000
3	3,3333	93,3333	3,3333	0,0000
4	6,6667	90,0000	3,3333	0,0000
5	0,0000	93,3333	6,6667	0,0000
6	3,3333	96,6667	0,0000	0,0000
7	3,3333	93,3333	3,3333	0,0000
8	3,3333	80,0000	16,6667	0,0000
9	0,0000	93,3333	6,6667	0,0000
10	6,6667	90,0000	3,3333	0,0000
min	0,0000	80,0000	0,0000	0,0000
max	6,6667	100,0000	16,6667	0,0000
medio	2,6667	92,3333	5,0000	0,0000
σ (desvio)	2,6294	5,2234	4,7791	0,0000

Tabela 8 – Resultados do Segundo Processo de Simulação para o cenário corretivo.

Como pode ser observado nos resultados obtidos (tabelas 7 e 8) as frequências dos resultados nos fatores de congestionamento melhoraram significativamente nos dois cenários em estudo, sendo que nesta segunda simulação a maior parte dos atendimentos correspondem à faixa 2 (probabilidade regular de atendimento) e já se observam também alguns resultados na faixa 1 (boa probabilidade de atendimento).

COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

O objetivo do trabalho foi desenvolver uma metodologia de cálculo que permitisse avaliar o comportamento de atendimento de uma rede de oficinas de manutenção veicular prestando serviços de manutenção a uma frota de veículos em uma região metropolitana com alta densidade de veículos. A técnica deveria considerar a variação aleatória de taxas de falha, taxas de reparo, número de veículos a serem atendidos, número de oficinas prestadoras de serviço e também o número de postos de atendimento em cada oficina.

Os cenários corretivos e preventivos utilizados consideram taxas de falhas diferenciadas para serviços preventivos e corretivos e também taxas de reparo diferenciadas entre estes dois tipos de serviço. Foram realizados dois processos de simulação. um para um número de quatro postos de trabalho por oficina e outro com cinco postos de trabalho por oficina.

As figuras seguintes mostram os resultados finais obtidos em ambas as simulações.

Como pode ser observado na figura 2, correspondente à simulação com quatro atendentes por oficina, existe um perfil regular a baixo, na probabilidade de atendimento,

sendo que no cenário corretivo o perfil de atendimento é pior do que no cenário preventivo.

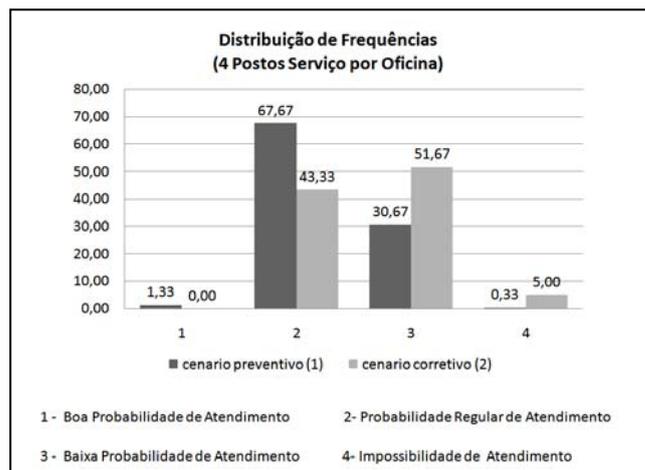


Figura 2 – Distribuição das Frequências Relativas do fator de congestionamento para as quatro faixas analisadas, considerando 4 postos de Serviço por Oficina.

Na figura 3 são mostrados os resultados da simulação com cinco postos de serviço por oficina

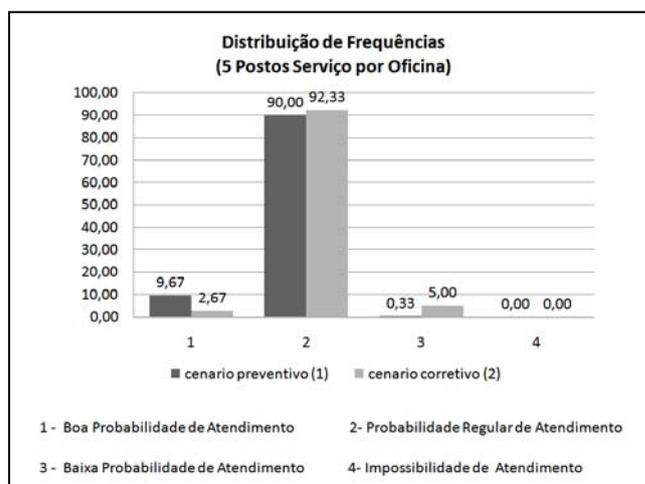


Figura 3 – Distribuição das Frequências Relativas do fator de congestionamento para as quatro faixas analisadas, considerando 5 postos de Serviço por Oficina.

Como se observa nesta figura, os resultados de atendimento melhoram significativamente em relação à simulação com somente quatro postos de serviço, sendo que a diferença entre o cenário preventivo e o corretivo diminui nesta segunda simulação. Isto significa que à medida que o número de atendentes aumenta, os dois tipos de serviços preventivos e corretivos podem ser atendidos de forma adequada sem a ocorrência de gargalos por falta de pessoal

técnico. Isto é um resultado muito importante, já que o cliente não chega a perceber nesta segunda situação uma diferença entre o atendimento de serviços corretivos e preventivos.

Apesar disto, é possível observar que mesmo com cinco postos de serviço por oficina a maior parte dos atendimentos está na faixa 2, ou seja na faixa de atendimento regular.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma metodologia de simulação que permite modelar o comportamento de processos de atendimento de oficinas de manutenção veicular utilizando o Método de Simulação Monte Carlo junto com a Teoria de Filas. As vantagens deste tipo de solução é a sua capacidade de modelar processos complexos envolvendo várias variáveis aleatórias permitindo avaliar o impacto de cada variável no resultado final do problema em estudo.

O tema analisado, ou seja, simulação de atendimento de oficinas de manutenção é de extrema importância na maioria dos conglomerados urbanos do Brasil e, em geral, em todos os países com alto índice de crescimento urbano. Existem cada vez mais veículos nas frotas em circulação, sendo que o número de oficinas não pode aumentar devido à escassa disponibilidade de espaço físico nas cidades. No Brasil existe ainda uma tendência de redução do número de oficinas, devido ao fato de que a evolução tecnológica somente permite a sobrevivência de grandes oficinas, bem equipadas, com pessoal mais qualificado. Desta forma, as pequenas e médias oficinas tendem a fechar. Somente em Minas Gerais, o número de oficinas sofreu uma redução de 24% nos últimos cinco anos, de acordo com o SINDIREPA-MG. Desta forma, é necessário otimizar o processo de manutenção veicular, que apresenta sérias deficiências, sendo uma das principais a falta de atendimento. Como foi mostrado neste trabalho, o Método de Simulação Monte Carlo junto à teoria de Filas, permitem avaliar quais parâmetros devem ser melhorados para que o atendimento de uma rede de oficinas seja otimizado. O aumento do perfil de confiabilidade da frota, ou seja, menores taxas de falha corretiva através do aumento de serviços preventivos permitem reduzir a necessidade global de serviços de manutenção e conseqüentemente contribuem com a melhoria do atendimento da rede de oficinas. Por outro lado, o aumento dos postos de serviço em cada oficina é outro caminho que permite uma melhoria significativa no atendimento.

Futuros trabalhos serão necessários para completar a análise do comportamento dos processos de manutenção veicular, considerando custos de material e mão de obra, necessidade de peças sobressalentes, treinamento de mão de obra, etc. Todos estes recursos podem ser incluídos no processo de simulação.

Agradecemos a colaboração do CNPQ pelo seu apoio com bolsas de iniciação científica para os alunos de Engenharia Mecânica do CEFET-MG, que colaboraram intensivamente para a realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

1. Castro D. E.; Pinheiro M. A.; Almeida H. A., “Análise crítica da situação de oficinas de manutenção veicular, SAE Technical Paper 2008-36-0123, Congresso SAE 2008, SP-Brasil, 2008
2. Castro D. E.; Pinheiro M.A.; “A global automotive maintenance management system based on reliability analysis”, Congresso MARCON 2009, Tennessee, USA, 2009
3. Castro D. E.; Pinheiro M. A., Souza L. G “Implantação de um Plano de Saúde Veicular (PSV) via Web – Um sistema de Gestão de Manutenção Veicular, SAE Technical Paper 2003-01-2649, Congresso SAE 2006, SP-Brasil, 2006
4. Hammersley J.M; Handscomb D.C. “Monte Carlo Methods”, Methuen – London, 1964
5. Hromkovic, “*Algorithms for hard problems: introduction to combinatorial optimization, randomization, approximation, and heuristics*”; Springer-Verlag, London - Berlin - Heidelberg - New York, 2001
6. Winston W.L., “Operations Research: applications and algorithms”, Brookscole Thomson Learning – 4 Ed. – California - 2004