

SIMULAÇÃO PARA MELHORIA DAS FALHAS EM UMA LINHA DE ÔNIBUS, UTILIZANDO O SOFTWARE ARENA

Alexandre Formigoni¹, Angelica Freitas Matos, Elizabete Fernandes
Neves, Lí-lia Lourdes Minas, João Roberto Maiellaro.

RESUMO: Este artigo tem como objetivo propor uma melhoria nos processos de uma linha de ônibus operando na cidade de São Paulo. Utilizando a ferramenta de simulação foi feito o levantamento dos dados junto da empresa e criado um primeiro cenário que demonstrará o funcionamento da linha nos moldes atuais. Depois será melhorado o *half width* e, por fim, formulada uma proposta de melhoria por meio de um segundo cenário. Para realizar esta simulação será utilizado o software Arena. Nos cenários serão focadas as falhas mecânicas que, conforme o levantamento demonstrou, foi o principal problema encontrado e o que provoca numerosas paradas, causando custos muito altos além de provocar atrasos, faz com que o atendimento aos usuários fique bastante prejudicado

PALAVRAS-CHAVE: Simulação, Software Arena, Melhoria de falhas.

ABSTRACT: This article aims to propose an improvement in the processes of a bus line operating in the city of São Paulo. Using the simulation tool, the data was collected from the company and a first scenario was created that will demonstrate the current operation of the line. Then the half width will be improved and finally a proposal for improvement will be formulated through a second scenario. To perform this simulation, the Arena software will be used. The scenarios will focus on the mechanical failures that, as the survey has shown to be the main problem encountered and what causes numerous stops causing very high costs in addition to causing delays, make attendance to users very bad.

KEYWORDS: Simulation, Arena Software, Improvement of failures.

¹ Contato autor principal: a_formigoni@yahoo.com.br

1 INTRODUÇÃO

Atualmente as empresas estão preocupadas essencialmente com a melhoria dos processos e na conseqüente redução dos custos. A simulação apresenta-se como uma importante e poderosa ferramenta de análise de processos e sistemas complexos, pois por meio da criação de cenários é possível o estudo, análise e avaliação de situações que no contexto real seriam muito dispendiosos ou mesmo impossíveis.

A simulação tem-se mostrado bastante eficiente e capaz de dar uma resposta rápida e praticamente sem custos para resolução de diversos tipos de problemas. É uma metodologia cada vez mais utilizada para a tomada de decisões nas mais diferentes áreas, Johansson (2002) reforça esta diversidade de áreas de aplicação da simulação mostrando que ela tem sido utilizada desde a representação de operações militares até em operações na área de saúde.

Por meio da simulação computacional, este artigo procurará, utilizando o software Arena versão 15.1, retratar o funcionamento do Terminal de Ônibus de Aricanduva, na cidade de São Paulo. Foi criado um cenário utilizando dados levantados no terminal. Serão observados a disposição de cada plataforma, verificando o tempo de espera das linhas e propor uma melhoria para que as filas de espera sejam minimizadas e que o atendimento aos usuários seja mais eficiente e com o mínimo de falhas.

Inicialmente será apresentado o Terminal e seu funcionamento atual, seguida do embasamento teórico sobre simulação e da utilização do software Arena. Serão descritos os cenários propostos com as várias alternativas encontradas e os resultados obtidos, bem como as conclusões do uso da simulação no caso em estudo.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Segundo Freitas Filho (2008) existem várias definições para simulação, essas definições falam sobre modelagem computacional, analógicas e até mesmo físicas, visando sempre analisar o comportamento de um sistema. Atualmente a simulação é mais voltada para a área computacional digital, onde

um modelo computacional é elaborado. Assim, simulação é o processo de imaginar um modelo computacional de um sistema real, direcionando-o para testes com o intuito de se entender o seu comportamento e pensar em estratégias para sua operação

A simulação como ferramenta de gestão não é um instrumento novo. Simular significa representar algo real, através de um modelo (MARIA, 1997). Os modelos são a representação de um sistema real, que pode ser um objeto físico, um organismo vivo ou um sistema social ou empresarial. O modelo é planejado e desenhado de maneira a reproduzir as características do objeto real que representa.

Dessa forma, Guetzkow (1962), explica simulação como qualquer construção de um modelo seja simbólico ou físico; Naylor et al. (1966) definem simulação como uma técnica numérica para conduzir experimentos em um computador. Já Maria (1997), apresenta a simulação como uma ferramenta para avaliar o desempenho de um sistema; enquanto para Law e Kelton (2000), simulação seria um conjunto de técnicas que utilizam modelos computacionais para imitar ou simular variados tipos de operações ou processos operacionais reais.

A definição de Shannon (1975), determina que a simulação é um processo de desenvolvimento de um modelo de um sistema real, que permite a produção de testes e experimentos, por meio desse modelo, com o objetivo de compreender o comportamento do sistema e/ou avaliar diferentes estratégias, utilizando limites impostos por um critério ou conjunto de critérios, para a operacionalização do sistema criado.

Nas empresas, a simulação pode ser definida como uma metodologia que podem auxiliar na resolução de problemas (MARIA, 1997). Assim, a simulação é usada como uma forma de modelagem, com o objetivo de analisar e implantar procedimentos reais, usualmente com o auxílio de um software ou por meio de protótipos (SHANNON, 1975).

Ainda conforme Guetzkow (1962), a simulação pode ser utilizada para o desenvolvimento de projetos, para conhecimento e aprendizagem, para treinamento e para ensino.

As etapas para elaboração e desenvolvimento de um modelo de simulação, segundo Maria (1997), seguem as seguintes etapas: identificar o

problema, formular o problema, coletar e processar dados do sistema real, formular e desenvolver um modelo, validar o modelo, modelo de documento para uso futuro, selecione o projeto experimental apropriado, estabelecer as condições experimentais rodar o modelo, executar simulações, interpretar e apresentar resultados.

Um modelo é desenhado para ajudar a entender os processos em diferentes situações empresariais e organizacionais. Há uma dificuldade em desenvolver um modelo matemático que consiga expressar a realidade dos problemas, por possuir muitas variáveis aleatórias, complexidade na dinâmica dos processos, e de conseguir observar o comportamento do sistema durante o período predeterminado, sendo o uso da animação, primordial para uma boa visualização de todo processo a ser observado. (HARREL et al. ,1996)

Por isso a simulação deve ter por objetivo principal prever e auxiliar os dirigentes das empresas na tomada de decisão e, caso a solução encontrada se mostre impossível de realizar, com a ajuda de ferramentas computacionais (SAKURADA; MIYAKE, 2003).

Existem vários softwares de simulação que podem ser agrupados em duas grandes categorias: os de linguagens de simulação e simuladores (LAW; KELTON, 1991). As linguagens de simulação permitem uma maior flexibilidade do que o uso de simuladores. Outrossim, as linguagens necessitam de um grande conhecimento de programação, não acessível à maioria dos usuários dos softwares. Já as aplicações orientadas por simuladores são bastante mais fáceis de aprender e utilizar e ainda podem construir uma modelagem mais relacionada com a aplicação desejada (MARIA, 1997). Os principais simuladores utilizados como ferramentas de simulação e criação de cenários computacionais são os softwares: Arena, da Rockwell Softwares e o ProModel, da ProModel Corporation (SAKURADA; MIYAKE, 2003).

2.1 O software Arena como ferramenta de simulação computacional

O software Arena pertence a Rockwell Software e é estatístico, sua modelagem ocorre em ambiente lógico e engloba animação com ferramentas de análise estatística. O conceito de funcionamento de um modelo, ocorre da seguinte forma: o usuário descreve todos os elementos estatísticos como

recursos e as regras de comportamento a serem respeitadas na construção do modelo. A simulação inicia quando as entidades (elementos dinâmicos) entram no modelo, fazem a integração com os elementos estáticos e circulam conforme as regras modeladas. (FIORONI, 2007)

Por definição, o Arena é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados. Não é necessário escrever sequer uma linha de código no software, pois todo o processo de criação do modelo de simulação é gráfico e visual, e de maneira integrada. Através da utilização de *templates*, uma tecnologia diferencial do Arena composta por uma coleção de objetos/ferramentas de modelagem, que permitem ao usuário, descrever o comportamento do processo em análise, através de respostas às perguntas pré-elaboradas de maneira visual e interativa (PARAGON, 2017), o Arena pode ser transformado facilmente em um simulador, específico para o problema em questão. Nele o usuário cria seus próprios *templates*, e eles, por sua vez, podem ser utilizados simultaneamente.

O Arena é composto por um conjunto de módulos utilizados para descrever uma aplicação real e que funcionam como comandos de uma linguagem de programação. Os elementos básicos de sua modelagem são as entidades que representam as pessoas, objetos, transações, etc. que se movem ao longo do sistema; as estações de trabalho que demonstram onde será realizado algum serviço ou transformação; e o fluxo que representa os caminhos que a entidade irá percorrer ao longo de estações. (PRADO, 1999) Assim como a maioria dos softwares de simulação computacional, o Arena visualiza o sistema a ser modelado como constituído de um conjunto de estações de trabalho que prestam serviços aos clientes. Ele tem sido utilizado para simular os mais diversos ambientes, desde linhas de produção a tráfego nas ruas de uma cidade.

3 DESENVOLVIMENTO

O Terminal de Ônibus objeto deste trabalho é um terminal situado nas proximidades de um grande shopping center na zona leste da cidade de São Paulo que

faz duas linhas circulares entre o shopping e as estações de metrô, uma na estação Itaquera e a outra na estação Artur Alvim.

A empresa que opera as linhas está no mercado há mais de dez anos e evoluiu de uma cooperativa para a estrutura atual, uma sociedade por quotas de responsabilidade limitada. Também opera outras linhas de ônibus na mesma cidade. Tem aproximadamente 90 funcionários, entre motoristas, fiscais e pessoal administrativo.

3.1 Descrição do processo atual

Os carros chegam ao ponto inicial (shopping) e o motorista ou o fiscal configuram-nos por meio de um cartão, denominado cartão de linha e configura o validador (equipamento que contabiliza o número de passageiros e libera a catraca). Em seguida abre o serviço com o cartão de serviço e o motorista, faz a vinculação com o cartão de bordo. Este cartão está vinculado ao validador e permite que o motorista ao receber o valor da passagem, possa liberar a catraca.

Antes da partida é elaborado um relatório de partida com os seguintes dados: horário da saída do carro, número da catraca, nome do motorista e a data. O motorista configura o letreiro luminoso do ônibus com o nome da linha e sentido da viagem.

O itinerário desta linha (sentido shopping – metrô) conta com 23 pontos de parada e embarque de passageiros que deverão ser percorridos num espaço de tempo entre 24 e 28:59 minutos. Todo o itinerário é mapeado via GPS. No sentido contrário (metrô – shopping) o itinerário possui 20 pontos. A viagem total (ida e volta) deverá ser efetuada num tempo total de 52 minutos a uma hora.

Existem vários horários diferenciados que resultam num acréscimo ou decréscimo do número de carros em operação. Nos horários de pico (manhã: das 05 às 08 horas e tarde: das 16:30 às 20 horas) o intervalo entre partidas é de 3 minutos e há mais carros em operação. Nos fins de semana e feriados não há horários de pico e a frota é reduzida, por esse motivo em determinados horários pode haver superlotação dos veículos. Se necessário o fiscal pode pedir reforço de carros, por motivo de quebra de veículo, trânsito muito intenso, etc. Isso permite uma maior fluidez e evita superlotação dos ônibus.

Todas as ocorrências são anotadas pelo fiscal, tais como: avaria mecânica, problemas na via (acidentes, alagamentos, etc.), trânsito muito intenso. Se for uma

ocorrência que não permita o cumprimento do horário, o motorista deve acionar o botão de acidente que envia um aviso para a empresa.

Para encerrar o serviço o motorista utiliza o cartão de serviço para fechar o dia e passa o cartão de bordo no validador para descarregar as informações da quantidade de passageiros que utilizaram o carro naquela data. O fiscal encerra o relatório com o horário de chegada.

3.2 Levantamento dos dados

O objeto deste estudo será apenas uma das linhas e, ao fazer o levantamento dos dados dessa linha, foi detectada uma grande quantidade de falhas, na sua maioria causadas por problemas mecânicos nos veículos. A linha observada trabalha com 21 carros. O levantamento foi feito por meio dos relatórios elaborados pelos motoristas e fiscais da linha observada. O período do levantamento foi de dez dias consecutivos e os dados foram trabalhados e descritos nas tabelas a seguir.

Na tabela 1 são descritas as principais causas das falhas e paradas nos ônibus da linha estudada.

Tabela 1 – Principais falhas nos carros

Causa	Quantidade
Falha mecânica	31
Vistoria	12
Motorista (faltou, chegou tarde, etc.)	03
Outros	07
Total	53

FONTE: Dados produzidos pelos autores

Também foram mensuradas as principais falhas mecânicas observadas e as suas percentagens, descritas na tabela 2.

Tabela 2 – Principais falhas mecânicas

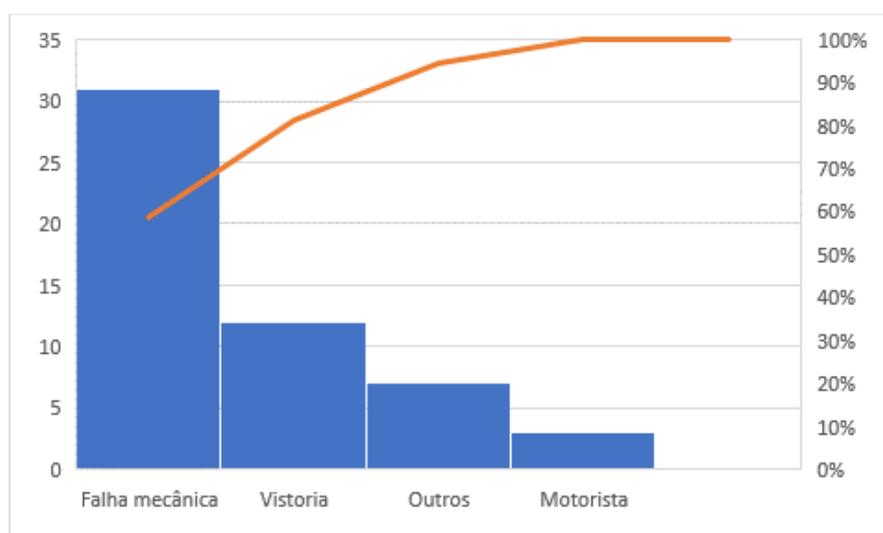
Tipo de falha	Percentagem
Elétricas	20%
Pneus	15%

Molas	15%
Funilaria / Vidros	20%
Diversos	30%
Total	100%

FONTE: Dados produzidos pelos autores

Com base nos dados da tabela 1 foi elaborado um gráfico de Pareto (Gráfico 1), utilizando a regra 80/20 para descobrir se as falhas mecânicas são realmente o grande problema da linha de ônibus em estudo.

Gráfico 1 – Gráfico de Pareto: Principais falhas nos carros – Regra 20/20



FONTE: Elaborado pelos autores

Como se pode observar no gráfico acima, torna-se muito claro que as falhas mecânicas são realmente o maior problema detectado pela pesquisa. Apesar das vistorias periódicas serem o segundo maior causador de tempo de parada, estas não se têm mostrado eficazes para resolver os problemas mecânicos.

Não foi possível relacionar o tempo de paradas provocadas pelos problemas mecânicos a um valor monetário, mas em horas positivas e negativas, sendo as horas negativas o tempo que determinado veículo ficou parado por uma falha.

Por esse motivo, foi utilizado o valor hora para mensurar o custo das falhas encontradas conforme exposto na tabela 3.

Tabela 3 – Horas paradas por falha

Causa	Tempo parado (em horas)
Falha mecânica	115:55
Vistoria	29:29
Motorista (faltou, chegou tarde, etc.)	06:03
Outros	24:38
Total	176:05

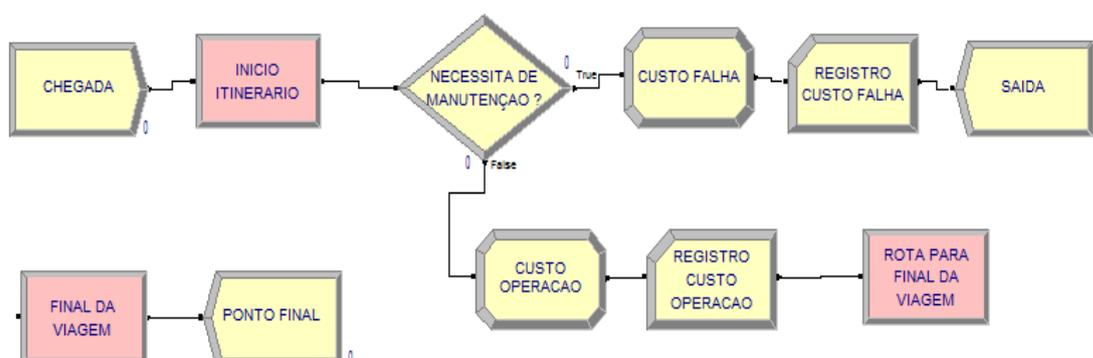
FONTE: Dados produzidos pelos autores

Depois de levantados todos os dados foram organizados para criar os cenários a serem simulados no software Arena.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados levantados e com as tabelas de dados foi elaborado um primeiro cenário como modelo do funcionamento atual do sistema, como se pode observar na Figura 1.

Figura 1 – Cenário do processo atual



Neste modelo está descrito o funcionamento do sistema atual que consiste em:

Create (Chegada): onde está a escala de chegada com o número de chegadas por período (Tabela 4);

Tabela 4 – Escala de chegada

Período	Tempo	Quantidade de partidas
Das 4 às 5 h	1 hora	8
Das 5 às 9 h	4 horas	75
Das 9 às 12 h	3 horas	42
Das 12 às 16 h	4 horas	54
Das 16 às 20 h	4 horas	46

Station (Início do Itinerário);

Decide (Necessita de manutenção?): com uma probabilidade de precisar de manutenção de 13% (valor definido pela média de horas paradas encontradas no levantamento de dados);

Se verdadeiro **Assign** (Custo falha): onde foi atribuído um valor de hora parada de 2. Seguido de um **Record** (Registo do custo da falha): para contabilizar o número de falhas durante a simulação;

Se o carro for a manutenção ele sairá do sistema por um **Dispose** (Saída).

Se falso **Assign** (Custo operação): onde foi atribuído um valor de hora trabalhada de 1. Seguido de um **Record** (Registo do custo da operação): para contabilizar o número de horas em operação durante a simulação;

Route (Rota para final da viagem): os carros que irão realizar as viagens, com uma escala de serviço; uma expressão: $50.5 + 9 * \text{BETA}(2.03, 1.32)$ obtida por meio da Tabela 5 e do Input analyzer Figura 2);

Station (Final da viagem) e **Dispose** (Ponto final).

Tabela 5 – Escala de serviço

52	54	52	54	52	52	52	53	52	52
52	56	53	58	57	54	58	53	55	56
54	57	54	58	59	57	57	56	58	56
53	55	51	55	56	54	54	58	55	55

55	55	53	56	52	54	54	58	53	56
55	53	52	56	56	53	56	56	53	56
54	59	56	58	58	58	56	58	57	56
57	59	59	59	59	58	59	54	57	56
57	58	57	57	58	56	58	58	58	58
58	57	56	58	59	56	57	58	56	59
58	57	59	57	59	54	58	58	57	56
59	58	58	56	59	57	54			

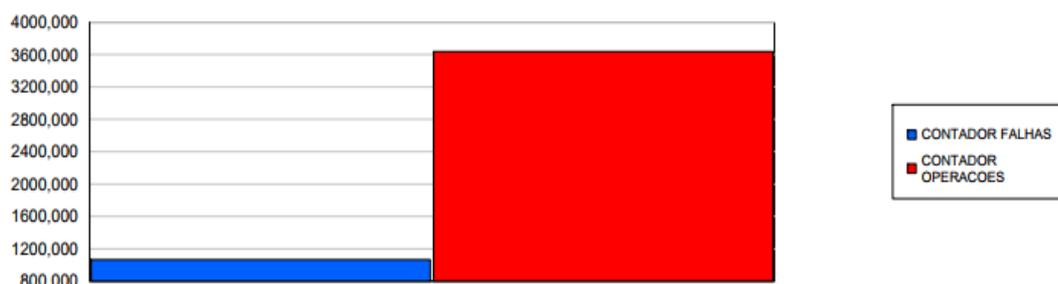
Quartil 1	54	Limite inferior	48
Quartil 2	56	Limite superior	54
Quartil 3	58		

Este modelo foi rodado 5 vezes por um período de 5 dias, durante 16 horas por dia. Os valores para o relatório foram descritos em minutos. O relatório da contagem das horas paradas está descrito na Figura 2.

Figura 2 – Relatório das horas paradas – processo atual

Counter

Count	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CONTADOR FALHAS	1065.60	99,57	962.00	1166.00
CONTADOR OPERACOES	3635.80	117,57	3500.00	3741.00



Como se pode constatar pelo relatório de contagem o custo contabilizado das falhas foi de 1065,60 com um intervalo de confiança (*half width*) de 99,57. Como o objetivo deste artigo era reduzir o intervalo de confiança para 3%, foi feito o seguinte cálculo:

Cálculo do *half width* desejado = $5 * (99,57/0,03)^2$

Este cálculo resultou em 55 replicações o que foi rodado com os resultados a seguir, expostos na Figura 3:

Figura 3 – Relatório das horas paradas – melhoria do *half width*



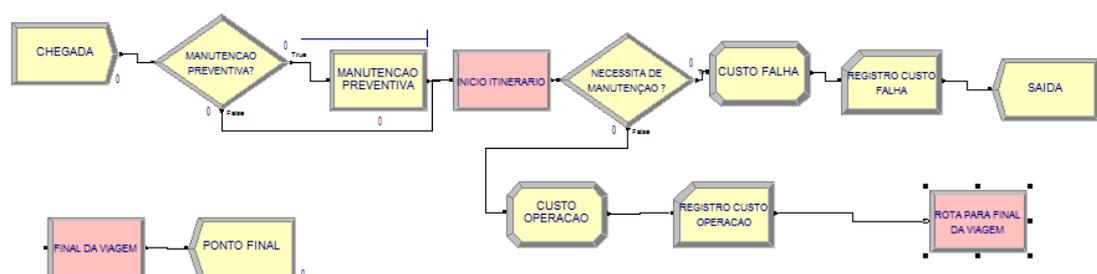
Como se pode observar no relatório, o intervalo de confiança foi reduzido para 12,37 atingindo assim o objetivo proposto.

Foi acrescentado um *Decide* (Manutenção preventiva?) com uma percentagem de 7% de carros que iriam para uma manutenção preventiva antes de iniciarem as viagens. Este número foi sugerido pelo funcionário da empresa que considerou este número aceitável e que não comprometeria significativamente o bom funcionamento da linha.

Este *Decide* orientaria alguns carros para um *Process* (Manutenção preventiva) de 2 horas para constituir um plano de melhoria nas falhas mecânicas que ocorrem com bastante regularidade, prejudicando a eficiência e bom atendimento aos usuários da linha.

A Figura 4 apresenta o modelo acrescido da proposta de melhoria do processo, Manutenção preventiva.

Figura 4 – Cenário com a melhoria proposta

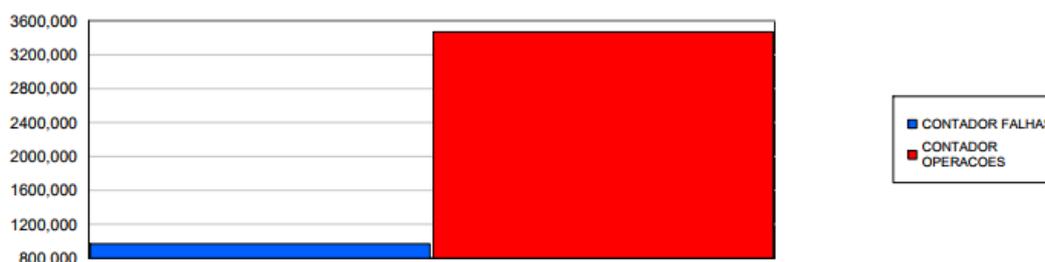


O relatório obtido (Figura 5) depois de 5 replicações do novo modelo por um período de 5 dias, durante 16 horas por dia. Como se pode observar a melhoria foi bastante significativa uma vez que diminuiu as falhas de 1065,20 para 970, demonstrando que a manutenção preventiva pode ser um instrumento bastante eficiente para diminuir consideravelmente o tempo de parada por falhas mecânicas

Figura 5 – Relatório das horas paradas – Manutenção preventiva

Counter

Count	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CONTADOR FALHAS	970.00	49,63	914.00	1020.00
CONTADOR OPERACOES	3466.60	49,88	3400.00	3501.00



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi observada uma linha de ônibus que faz a ligação entre um shopping center e uma estação de metrô. Foram colhidos dados das viagens, ocorrências, forma como o processo funciona atualmente. Esse levantamento de dados foi

feito por meio de documentos disponibilizados pela empresa e também por meio de várias entrevistas com um funcionário da empresa.

Com os dados levantados foi feita uma análise dos principais problemas encontrados e detectado que as falhas mecânicas eram muito frequentes e que comprometiam o bom funcionamento da linha prejudicando, não só os usuários, mas também motoristas e fiscais.

Depois das cinco replicações foi encontrado um intervalo de confiança de 99,57 e calculado o número de replicações necessárias para que esse intervalo de confiança diminuísse para 3%. Após o cálculo o número de replicações encontrado foi de 55, número esse que foi replicado para atingir o intervalo desejado. O valor conseguido foi de 12,37.

O objetivo do artigo foi atingido com esse valor, mas ainda foi acrescentada uma sugestão de melhoria do processo que consistiu num processo de manutenção preventiva o que diminuiu consideravelmente as horas paradas durante o processo.

Essa melhoria pode ser apresentada à empresa que pode utilizar os resultados obtidos com a simulação efetuada para melhorar os seus processos, reduzir horas paradas e conseqüentemente aumento de 94,8 horas na utilização dos veículos. Além disso, essa melhoria minimizará as falhas mecânicas que permitirá um melhor serviço prestado aos usuários da linha.

Este trabalho pode e deve ser melhorado, uma vez que a simulação é uma ferramenta bastante útil e que permite realizar testes que, na vida real seriam muito caros.

REFERÊNCIAS

FIORONI, M.M. **Simulação em ciclo fechado de malhas ferroviárias e suas aplicações no brasil: avaliação de alternativas para o direcionamento de composições**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

FREITAS FILHO, P.J. **Introdução à modelagem e Simulação de Sistemas**. 2 ed. Visual Books: Florianopolis, 2008.

FORMIGONI et al., 2022.

GUETZKOW, H. (Org.). **Simulation in social science: Readings**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1962.

HARREL, C. R.; et al. **Simulação – otimizando os sistemas**. 5 ed. Instituto IMAM: São Paulo. 2002.

JOHANSSON, B. **A strategic approach to performance enhancement in manufacturing systems**. Department of Product and Production Development Chalmers, University of Technology, Göteborg, Sweden, 2002.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

LAW, A.M.; KELTON, W.D. **Simulation modeling and analysis**. Boston: McGraw-Hill, 2000.

MARIA, A. **Introduction to modeling and simulation**. Winter Simulation Conference, 1997.

NAYLOR, T.; BALINTFY J.; BURDICK D.; KONG C. **Computer simulation techniques**. USA: Wiley, 1966.

PARAGON. Simulação. Disponível em: . Acessado em: 27/07/2017.

PRADO, D. S. **Usando o Arena em simulação**, Série Pesquisa Operacional. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999. v. 3.

SAKARUDA, N.; MIYAKE, D. I. **Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços**. ENEGEP, 2009 Disponível em: www.scielo.br . Acessado em 25/07/2017.

SHANNON, Robert E. **Introduction to the art and science of simulation**. Proceedings of the Winter Simulation Conference, 1998.

SHANNON, Robert E. **Systems simulation: the art and science**. Englewood Cliffs: PrenticeHall, 1975.