

Uso de simulação para comparação entre estratégias de manutenção em um sistema composto por três máquinas sujeitas a quebras aleatórias

Mário Sérgio Correa dos Santos (Unimep) marioscs@gmail.com
André Luís Helleno (Unimep) alhelleno@unimep.br
Everton Dias de Oliveira (Unimep) everton_deoliveira20@hotmail.com

Resumo:

Ao gerenciar sistemas produtivos é necessário definir uma estratégia de manutenção para cada um dos equipamentos envolvidos no processo. Tal definição incorre em benefícios e custos que devem ser analisados para que a melhor escolha possa ser feita. Este trabalho apresenta os resultados de 12 simulações computacionais realizadas com o objetivo de comparar a performance de 4 estratégias de manutenção quando aplicadas a 3 ambientes diferentes. Conclui-se que realizar a manutenção preventiva em todas as máquinas é a estratégia que apresenta o melhor desempenho. Porém, diferenças entre os tempos das operações podem fazer com que esta estratégia não apresente diferenças quando comparada a estratégias mais simples.

Palavras chave: simulação de sistemas, manutenção preventiva, manutenção corretiva.

Use of simulation for comparison between maintenance strategies in a system with three machines and subjected to random failures

Abstract

When managing production systems it is necessary to define a maintenance strategy for each equipment involved in the process. Such definition incurs benefits and costs that must be analyzed so that the best choice can be made. This work presents the results of 12 computational simulations performed with the objective of comparing the performance of 4 maintenance strategies when applied to 3 different environments. The conclusion is that performing preventive maintenance on all machines is the best strategy in all situations. However, differences between operations times may lead this strategy to produce irrelevant differences when compared to simpler strategies.

Key-words: system Simulation, preventive maintenance, corrective maintenance.

1. Introdução

Segundo Duffuaa et al (2001) a manutenção é responsável por manter os equipamentos em ordem, configurados de maneira correta e de modo que não ofereçam riscos aos usuários. Alebrant e Ribeiro (2014) afirmam que em um cenário de economia globalizada as empresas precisam tratar a manutenção como uma função estratégica para aumento de produtividade.

Soluções e métodos que buscam a definição dos melhores parâmetros para a manutenção precisam considerar a variabilidade envolvida no processo, já que os tempos de duração das atividades de manutenção não são determinísticos, ou seja, não são sempre os mesmos. Na manutenção a variabilidade também está presente nos tempos de quebra e no intervalo entre

quebras de equipamentos, tempos estes que não são exatos, mas sim estimativas baseadas em observações e análises estatísticas.

A modelagem e simulação de eventos discretos é uma técnica de pesquisa operacional que permite que a variabilidade dos sistemas seja representada por meio de curvas estatísticas de probabilidade (CHWIF e MEDINA, 2010). Na manutenção, a simulação pode ser utilizada para comparar diferentes estratégias em diferentes cenários. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é, utilizando a simulação computacional, comparar diferentes estratégias de manutenção em cenários que considerem a variabilidade do sistema.

2. Objetivo

Verificar as diferenças entre utilizar técnicas de manutenção corretiva ou preventiva no desempenho de um sistema de manufatura com três máquinas, quando o objetivo é obter a maior taxa de produção possível, medida em peças/hora.

3. Referencial teórico

A primeira parte deste referencial teórico aborda o tema simulação computacional e suas principais características. A segunda parte apresenta como a simulação tem sido utilizada para auxiliar na tomada de decisão em problemas de manutenção.

3.1 Simulação computacional

Segundo Cox e Mize (1968), a simulação é a atividade de realizar experimentos com o modelo de um sistema. Arquitetos constroem maquetes de casas e prédios, tais maquetes são modelos e podem simular características gerais dos prédios para que variáveis como área ocupada, distâncias e proporções sejam melhor percebidas e estudadas. Existem diversos tipos de simulações e dentre elas a simulação computacional.

A simulação computacional é um procedimento no qual experimentos são realizados em um modelo matemático computadorizado de um sistema físico (SWAIT; BEN-AKIVA, 1987). Dentre as diversas técnicas de simulação computacional, a simulação por eventos discretos, quando aplicada à manufatura, pode descrever o fluxo de materiais ao longo de uma linha de produção, a interação entre máquinas e pessoas, e também as lógicas de movimentação e processamento.

3.1.2 Simulação de eventos discretos

Quando a simulação é aplicada a sistemas cujo estado se altera em instantes definidos do tempo, ela é chamada de simulação de eventos discretos (BRITO; TEIXEIRA, 2001). Neste tipo de simulação as mudanças no sistema ocorrem em instantes bem definidos no tempo, os quais são chamados de eventos e são definidos como toda ocorrência capaz de alterar as variáveis e, consequentemente, o estado do sistema. Apesar deste tipo de simulação poder ser feito manualmente, um sistema relativamente simples exigiria a manipulação de um grande número de variáveis e necessitaria então o auxílio de um computador (LAW; KELTON, 1991).

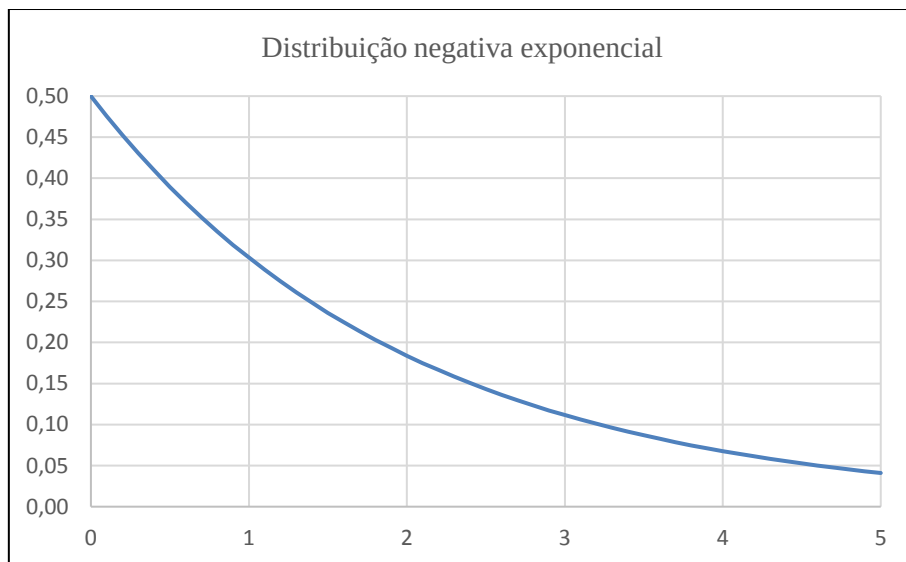
3.1.2 Modelos estocásticos e modelos determinísticos

As variáveis consideradas em modelos de simulação podem ter valores fixos e serem chamadas determinísticas ou podem ter valores que variem em um intervalo específico e, de acordo com alguma regra ou distribuição. Essas variáveis são ditas estocásticas (PORTUGAL, 2005). Quando um modelo de simulação faz uso apenas de variáveis determinísticas ele é dito modelo de simulação determinístico, assim como a presença de uma ou mais variáveis estocásticas torna o modelo estocástico (BRITO; TEIXEIRA, 2001).

As variáveis estocásticas são representadas com o uso de curvas de distribuição de

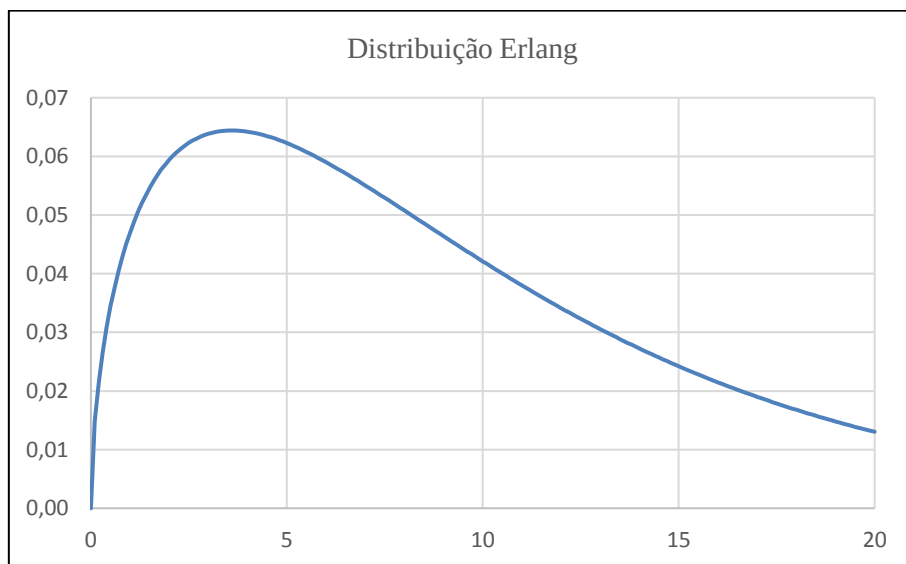
probabilidades, de modo que as variáveis possam apresentar diversos valores dentro de um intervalo. Tais valores são sorteados sempre que necessários de modo que o pesquisador, ou o software, esteja sempre trabalhando com valores diferentes, mas que juntos representam a variabilidade do sistema em questão.

Os gráficos 1 e 2 apresentam respectivamente as curvas de probabilidade para as distribuições exponencial e Erlang.



Fonte: Elaborado pelos autores

Gráfico 1 – Função densidade de uma distribuição negativa exponencial com média igual a 2



Fonte: Elaborado pelos autores

Gráfico 2 – Função densidade de uma distribuição Erlang com média igual a 10 e desvio padrão igual a 8

Segundo Chwif e Medina (2010) a distribuição exponencial pode ser utilizada para modelar o intervalo entre quebras de máquina (MTBF), e a distribuição Erlang pode representar o tempo necessário para que a máquina seja consertada (MTTR).

3.1.3 Vantagens da simulação

Uma das grandes vantagens da simulação, segundo Harrel (2002), é que este estudo permite

propor alterações sem interferir nas operações do sistema real. Chwif (1999) ressalta que diferente do que ocorre em sistemas reais, a experimentação em modelos de simulação não envolve riscos materiais ou humanos. Sistemas de segurança em veículos são testados em simulações, onde em um ambiente controlado as condições de um acidente são replicadas e uma colisão é criada para que diversos fatores possam ser observados. Essa simulação, apesar de não apresentar riscos aos envolvidos, é muito onerosa, já que os componentes são destruídos a cada experimento. O problema do alto custo por experimento não é observado na simulação computacional, pois em um ambiente virtual diversos cenários podem ser estudados e comparados sem que nada se perca.

3.2 Simulação na manutenção

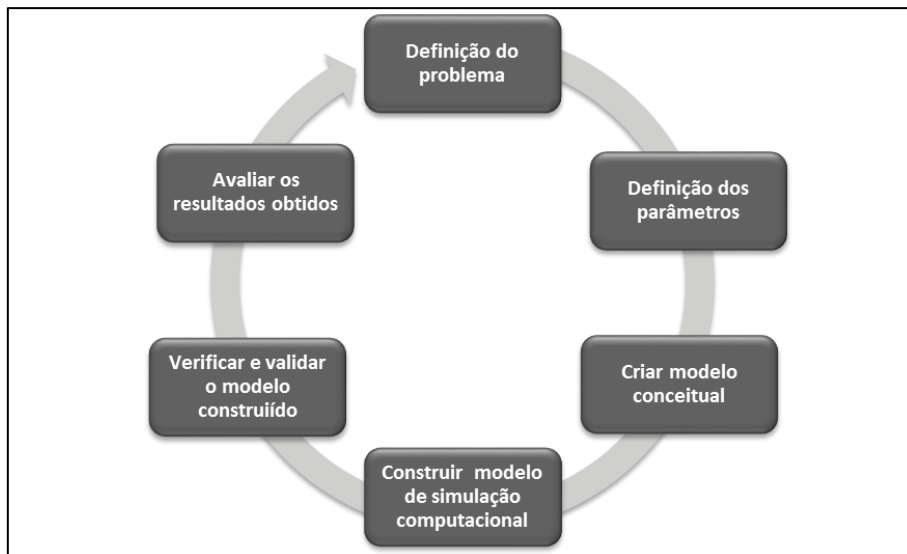
Chakravorty e Atwater (1995) desenvolveram um estudo comparativo com uso de simulação computacional, entre um sistema tradicional de manufatura, com tempos de ciclo determinados, e um sistema just-in-time, com 20% de capacidade ociosa. Foram considerados vários níveis de estoque entre processos e também diversos níveis de variabilidade do sistema, descrita por tempo entre quebra de máquinas e tempo para manutenção corretiva. Concluíram que, diferente do que se podia esperar, quanto maior o estoque entre processos, melhor o desempenho da linha just-in-time.

Duffuaa et al (2001) desenvolveram um modelo conceitual para que as atividades de manutenção pudessem ser representadas em modelos de simulação de eventos discretos. Em seu trabalho apresentam um sistema capaz de analisar as informações dos históricos da manutenção, e também tratar o controle das peças de reposição.

Boschian et al (2009) construíram um modelo de simulação para estudar o comportamento de um sistema de manufatura composto por duas máquinas em paralelo, que fornecem peças para um estoque no início de uma linha de montagem. Em seu trabalho as duas máquinas estão sujeitas a quebras que ocorrem de modo aleatório, e com uma duração também aleatória. Nesse trabalho a simulação foi utilizada, entre outros, para determinar a melhor frequência de manutenções preventivas de modo a maximizar a disponibilidade total dos equipamentos.

4.0 Desenvolvimento

Segundo Chwif e Medina (2010) para se construir um modelo de simulação bem sucedido é preciso primeiro formular o modelo, que consiste na criação do modelo conceitual e identificação dos dados de entrada; implementar o modelo, com a construção, verificação e validação do modelo computacional e por último analisar os resultados obtidos. Tais etapas são representadas na figura 1.



Fonte: Adaptado de Chwif e Medina (2010)
 Figura 1 – Etapas de um trabalho de simulação

4.1 Definição dos parâmetros

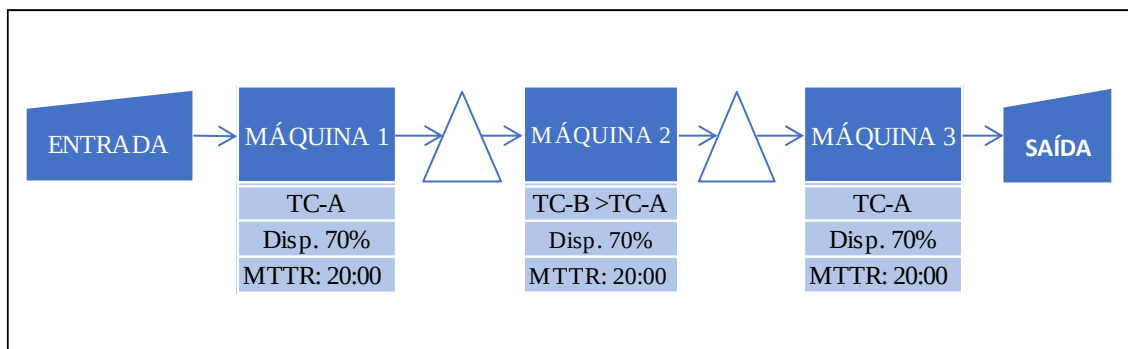
No modelo considerado, quando as máquinas estão sujeitas a uma estratégia de manutenção corretiva, o tempo médio entre falhas é representado por uma distribuição exponencial com média igual a 46,6 minutos e o tempo de duração da falha é representado por uma distribuição Erlang com média de 20 minutos. Tais valores, quando aplicados a equação abaixo, fazem com que a disponibilidade esperada da linha seja de 70%.

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

No modelo construído, quando a estratégia de manutenção das máquinas é preventiva, o tempo entre falhas e o tempo de duração das falhas é determinístico, ou seja, tem valor constante e exato não sendo representado por uma distribuição estatística. Para o MTBF foi utilizado o valor de 46,6 minutos, e para o MTTR 20 minutos. Os valores são os mesmos para os cenários que utilizam a manutenção corretiva, a diferença é que os tempos não são variáveis, ou seja, a manutenção irá acontecer sempre nos mesmos horários e a sua duração também será sempre a mesma. Utilizando tais definições, a aleatoriedade de uma parada não programada pode ser representada, assim como também é representada a duração constante e previsível de uma parada programada.

4.2 Modelo conceitual

Para o desenvolvimento deste estudo foi considerada uma linha de produção composta por três máquinas, sendo que a máquina intermediária é sempre a restrição (gargalo) do sistema, e as demais possuem sempre um tempo de ciclo (TC) igual.



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 2 – Modelo conceitual

O sistema estudado também considera a presença de dois estoques, um antes e um depois da máquina gargalo (máquina 2). Tal prática visa desacoplar a máquina restrição de modo que quando as demais máquinas quebram o gargalo ainda pode trabalhar. Neste trabalho a capacidade dos estoques foi dimensionada de modo a comportar 20 minutos de produção, que é o tempo médio esperado para a duração de uma falha.

4.3 Cenários considerados e modelo computacional

Este trabalho considera quatro diferentes estratégias de manutenção, são elas:

- 1) Manutenção corretiva nas três máquinas;
- 2) Manutenção preventiva nas três máquinas;
- 3) Manutenção preventiva no gargalo e corretiva nas demais máquinas;
- 4) Manutenção corretiva no gargalo e preventiva nas demais máquinas.

As quatro estratégias são analisadas em três situações diferentes, cada situação representando uma diferença entre os tempos de ciclo do gargalo e das demais máquinas. O objetivo de tais situações é o de verificar se diferenças nos balanceamentos de tempo entre as operações pode alterar a escolha pela estratégia de simulação a ser utilizada. As situações consideradas são:

- a) Diferença de 50% entre o tempo de ciclo do gargalo e das demais máquinas;
- b) Diferença de 25% entre o tempo de ciclo do gargalo e das demais máquinas;
- c) Diferença de 10% entre o tempo de ciclo do gargalo e das demais máquinas.

Os tempos de ciclo considerados nas três situações descritas são apresentados na tabela 1.

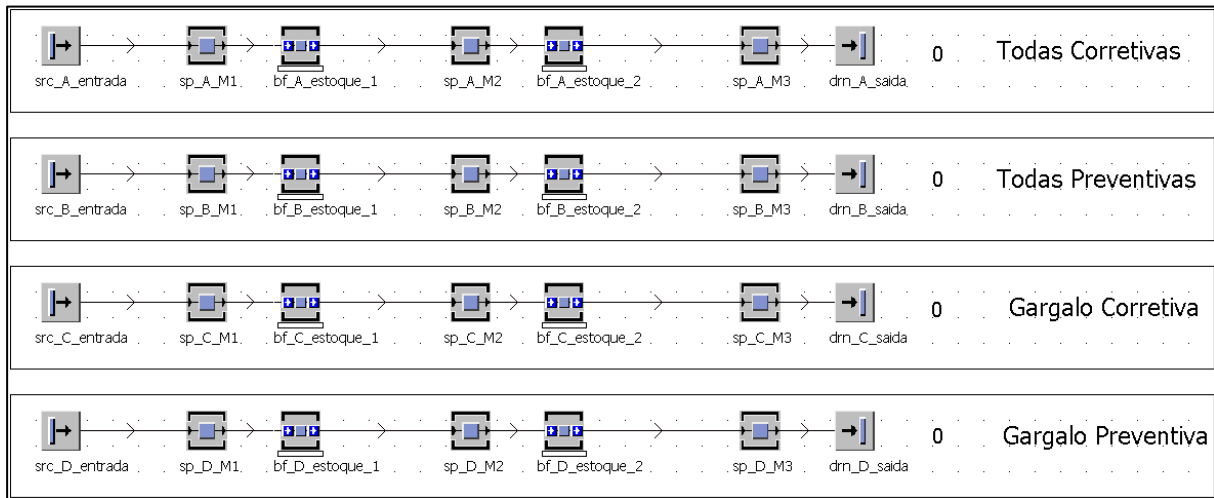
Tempo em segundos	a) 50%	b) 25%	c) 10%
TC-A	50	75	90
TC-B	100	100	100

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 1: Tempos de ciclo das situações consideradas

As 4 estratégias de manutenção, sendo aplicadas às 3 situações descritas, formam 12 cenários que podem ser comparados. O desempenho de cada cenário é avaliado pelo número de peças produzidas por dia, sendo que são consideradas 24 horas de produção todos os dias.

O modelo de simulação computacional foi construído com auxílio do software Plant Simulation V13. O modelo, ilustrado na figura 3, permite a comparação simultânea entre as quatro estratégias consideradas.

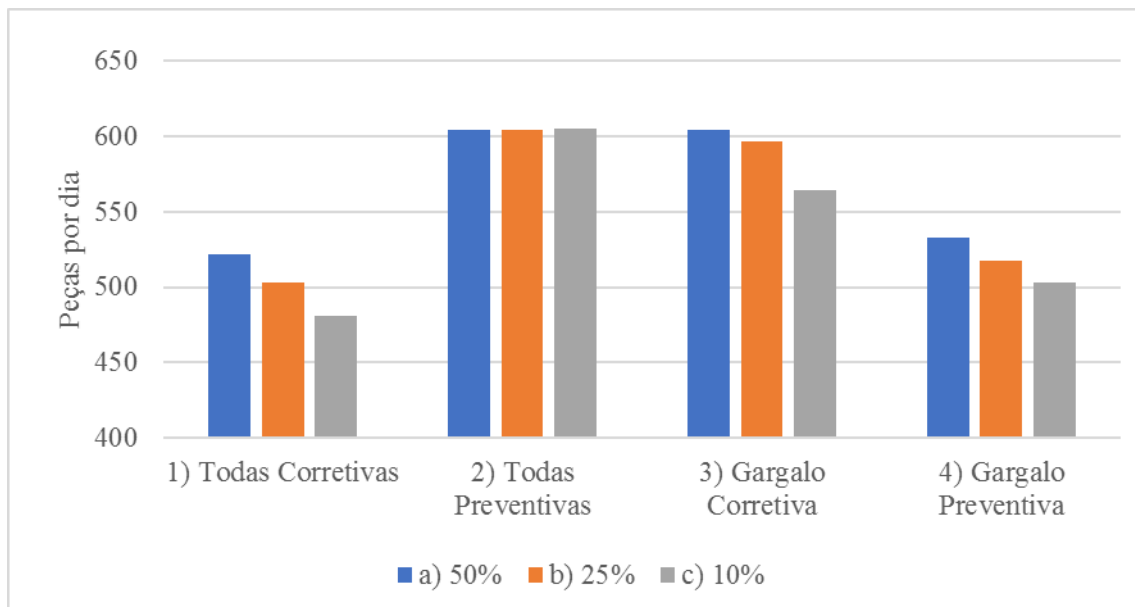


Fonte: Elaborado pelos autores
Figura 3 – Modelo de simulação computacional

5. Resultados

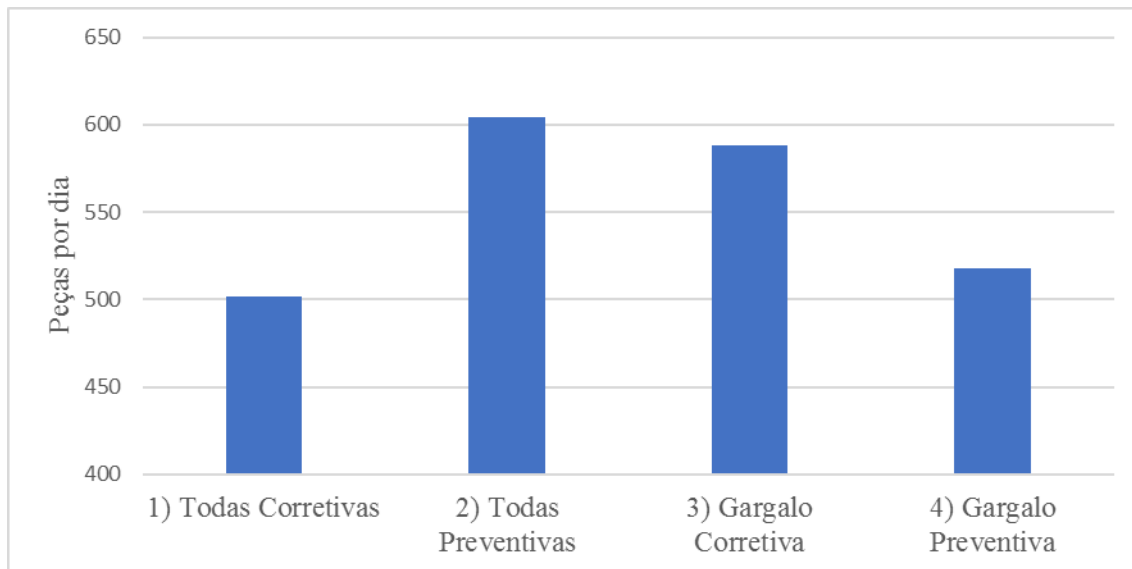
Para obtenção dos resultados cada um dos 12 cenários foi simulado por 20 dias, e 30 replicações diferentes foram realizadas. Tal procedimento é necessário para que as interações entre as diversas curvas estatísticas possam regredir para o valor médio que se deseja obter.

O gráfico 3 apresenta os resultados obtidos com a simulação dos 12 cenários.



Fonte: Elaborado pelos autores
Gráfico 3 – Resultados

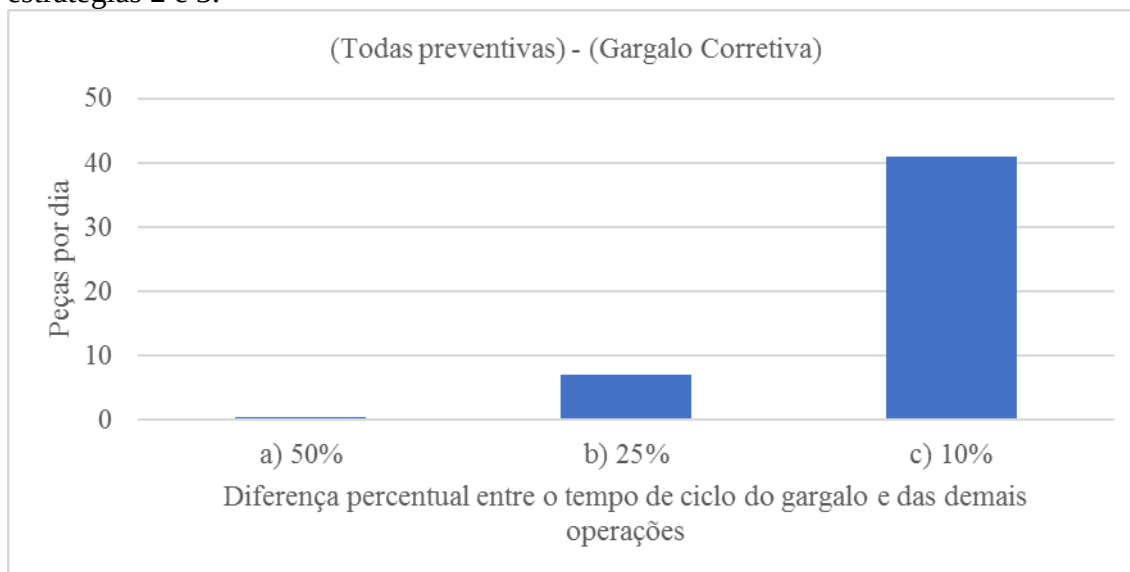
O gráfico 4 apresenta a média do resultado obtido com cada uma das 4 estratégias de manutenção nas diferentes situações de balanceamento de linha.



Fonte: Elaborado pelos autores

Gráfico 4 – Média dos resultados das 4 estratégias de manutenção nos diferentes tipos de balanceamento

As estratégias 2 (Manutenção preventiva em todas as máquinas) e 3 (Manutenção corretiva no gargalo e preventiva nas demais máquinas) apresentam na média resultados semelhantes, entretanto, a diferença de resultados se torna mais expresiva quando as duas estratégias são comparadas nas diferentes situações de balanceamento de linha. O gráfico 5 apresenta para as 3 situações de balanceamento, as diferenças entre o número de peças produzidas pelas estratégias 2 e 3.



Fonte: Elaborado pelos autores

Gráfico 5: Diferença entre o número de peças produzidas com as estratégias 2 e 3

6. Conclusões

É possível observar que, com os parâmetros utilizados, a estratégia 2, de realizar manutenção preventiva em todas as máquinas apresenta o melhor resultado dentre as opções analisadas, em todos os cenários considerados. A estratégia 1, de realizar manutenção corretiva em todas as máquinas foi a que apresentou o pior resultado em todos os cenários analisados.

Nos casos em que a máquina gargalo tem uma estratégia de manutenção diferente das demais, o melhor desempenho é obtido quando esta estratégia é a de realizar a manutenção corretiva e não a preventiva. Tal resultado se explica pois é preferível realizar a manutenção preventiva no maior número de máquinas possível, mesmo que a máquina restrição tenha uma estratégia de manutenção diferente.

Com as simulações realizadas também é possível observar que diferenças muito grandes nos tempos de operação fazem com que as estratégias 2 e 3 apresentem resultados semelhantes. Tal fato pode ser observado no gráfico 3. Entretanto, conforme os tempos de ciclo se aproximam, aumenta a diferença de desempenho entre as estratégias 2 e 3. Podemos concluir então, que nos cenários estudados, quanto mais os tempos entre as operações se aproximam, mais é necessário que a manutenção preventiva seja realizada em todas as máquinas.

Referências

- ALEBRANT, A. M.; RIBEIRO, J. L. R.** Establishment of a maintenance plan based on quantitative analysis in the context of RCM in a JIT production scenario. *Reliability Engineering & System Safety*, v. 127, p. 21-29, 2014.
- BOSCHIAN, V.; REZG, N.; CHELBI, A.** Contribution of simulation to the optimization of maintenance strategies for a randomly failing production system. *European Journal of Operational Research*, v. 197, n. 3, p. 1142-1149, 2009.
- BRITO, A. C.; TEIXEIRA, J. M. F.** Simulação por Computador: Fundamentos e implementação de código em C e C++. 1. ed. Porto: Publindústria, 2001.
- CHAKRAVORTY, S. S.; ATWATER, J. B.** Do JIT lines perform better than traditionally balanced lines?. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 15, n. 2, p. 77-88, 1995.
- CHWIF, L.** Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal. 1999. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C.** Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria & aplicações. 3. ed. São Paulo: Ed do Autor, 2010.
- COX, J. H.; MIZE, J. H.** Essentials of simulation. Prentice-Hall International series in industrial engineering and management science, 1968.
- DUFFUAA, S.O.; Ben-D, M.; SULTAN-AL, K.S.; ANDIJANI, A.A.,** "A generic conceptual simulation model for maintenance systems", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 7 Iss 3 pp. 207 – 219, 2001.
- HARREL, C. R.** et al. Simulação otimizando os sistemas. São Paulo: Belge IMAM, 2002.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D.** Simulation Modeling and Analysis. 2. ed. Singapore: McGraw-Hill, 1991.
- PORTUGAL, L. S.** Simulação de tráfego: conceitos e técnicas de modelagem. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.
- SWAIT, J.; BEN-AKIVA, M.** Incorporating random constraints in discrete models of choice set generation. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 21, n. 2, p. 91-102, 1987.